



Integreret håndtering af vand og spildevand i København

Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand. Samarbejdsprojekt med Københavns Energi. Projekt A.1

Hauger, Mikkel Boye; Binning, Philip John

Publication date:
2006

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Hauger, M. B., & Binning, P. J. (2006). *Integreret håndtering af vand og spildevand i København: Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand. Samarbejdsprojekt med Københavns Energi. Projekt A.1*. Institut for Miljø & Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Integreret håndtering af vand og spildevand i København:

Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt
eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand

Februar 2006

Projekt A.1.

*Mikkel Boye Hauger og Philip John Binning
Institut for Miljø & Ressourcer, DTU, 2006*



Københavns Energi ønsker at være på forkant med udviklingen omkring rensningsteknologi og anvendelse af vand af ikke-drikkevandskvalitet og at etablere en platform for fremtidige beslutningsgrundlag, der er solidt fagligt og videnskabeligt funderet og som har stor teknisk bredde. Af denne årsag har KE indgået en samarbejdsaftale med Institut for Miljø og Ressourcer på dette område. Denne rapport er en del af samarbejdsaftalen ”Integreret håndtering af vand og spildevand i København”, mellem Københavns Energi og Institut for Miljø & Ressourcer. Samarbejdsaftalens overordnede mål er at analysere forholdene omkring Københavns nuværende og potentielle fremtidige vandressource. I den forbindelse undersøges potentialet for at anvende forskellige teknologier og strategier med henblik på, at KE i fremtiden fortsat kan levere vand i tilstrækkelige mængder og i den ønskede kvalitet. Denne rapport omhandler første delprojekt: A.1 Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende rensningsteknologier inden for vand- og spildevand. Rapporten er udarbejdet i perioden marts 2005 til februar 2006

På institut for Miljø & Ressourcer er der til projektet knyttet en projektgruppe bestående af:

Lektor Hans Jørgen Albrechtsen (Projekt koordinator, Mikrobiologi)

Professor Erik Arvin (Vandrensning)

Lektor Phillip Binning (Projektleder delprojekt A.1, Hydrologi)

Lektor Ann Marie Eilersen (Alternative vandressourcer)

Post Doc. Mikkel Boye Hauger (Scenarie evalueringer)

Professor Mogens Henze (Spildevandsrensning)

Professor Anna Ledin (Miljøfremmede stoffer)

Lektor Peter Steen Mikkelsen (Byhydrologi)

På Københavns Energi har følgende personer været knyttet til projektet i projektperioden:

Jens Andersen (Plan, vand)

Mikael Landt ((Plan, vand)

Per Jacobsen (Afløbschef)

Niels Bent Johansen (Plan, afløb)

Svend Krongaard Hansen (Projekt, afløb)

Sonia Sørensen (Plan, afløb)

Lis Napstjert (Vandforsyningschef)

Institut for Miljø & Ressourcer

Bygningstorvet

2800 Kgs. Lyngby

Indhold

<i>Formål</i>	<i>4</i>
<i>Indledning.....</i>	<i>5</i>
<i>Vandbalance</i>	<i>6</i>
<i>Vandkvalitet.....</i>	<i>8</i>
<i>Storforbrugere</i>	<i>11</i>
<i>Teknologier til rensning af drikkevand og spildevand.....</i>	<i>12</i>
<i>Opbevaringsoversigt.....</i>	<i>14</i>
<i>Inspirationsforslag</i>	<i>15</i>
<i>Udfordringer.....</i>	<i>18</i>

Bilagsoversigt

Bilag 1:.....	Vandbalance og vandkvalitet, detaljer og baggrund
Bilag 2:.....	Beskrivelse af storforbrugere
Bilag 3:.....	Oversigt over teknologier og opbevaringsmuligheder
Bilag 4:.....	Inspirationskatalog over teknologiske tiltag

Formål

Formålet med denne rapport er at skabe et overblik over den vandressource, der er til rådighed i København, fra regnvand og grundvand til spildevand, både med hensyn til mængder og kvaliteter. Der gives et overblik over de teknologiske muligheder til rensning af drikkevand og spildevand, der er at vælge imellem. Som inspiration og et udtryk for ambitionsniveauet er der fundet en række eksempler på anvendelser af et bredt spektrum af alternative teknologier fra hele verden. De skiller sig ud ved at være nogle af de mest visionære anvendelser af alternative teknologier, der er set. Til rapporten hører en række bilag, der går mere i detaljen med vandets kredsløb i København(bilag 1), de store forbrugere(bilag 2), de teknologier, der er undersøgt(bilag 3) og anvendelsen af alternative teknologier(bilag 4).

Dette overblik skal danne rammen om arbejdet med at formulere en ny selvforsynende strategi for vandhåndteringen i København, hvor mange løsninger vil blive overvejet, de fleste forkastet igen, nogle få udvalgt som lovende muligheder og hvor de bedste til sidst står som et bud på en fremtidig selvforsynende strategi for København.



København set fra Rundetårn. Rapporten skal skabe et overblik over vandressourcerne i København

Indledning

Siden den allerførste vandforsyning i København, hvor søvand blev ledt ubehandlet i udhulede træstammer ind til springvand og brønde i det indre København, har byen hentet det meste af sit vand uden for byen. I dag henter København sit drikkevand i grundvandsmagasinet på en stor del af Sjælland. Dette har været en løsning der har fungeret godt i mange år. Men grundvandsressourcen på Sjælland er under hårdt pres. Udnyttelsen af grundvand overstiger mange steder på Sjælland langt den bæredygtige ressource, der er til rådighed. Med indførelsen af Vandrammedirektivet og miljømålsloven bliver kravene til vandindvindingen skærpede i naturfølsomme områder, hvilket vil reducere den mængde grundvand, der kan indvindes til drikkevand. Siden 1980 har KE måtte lukke 120 ud af 750 borer, fordi der er fundet forskellige forurenede stoffer i borerne. De tilladelser KE har til indvinding af vand udløber for hovedpartens vedkommende i 2010 og nye er p.t. under forhandling for, at indvindingen kan fortsætte.

Kort sagt er tiden moden til at kigge grundigt på den måde, København i dag bliver forsynet med drikkevand og til at genoverveje vandforsyningsstrategien for København. Tiden er også ved at være moden til at undersøge, om der er andre måder at forsyne København med vand, og om vandets vej gennem byen kan udformes anderledes, set i lyset af presset på vandressourcen og nye teknologiske muligheder for vandbehandling og vandbesparelser.

Københavns Energi har sammen med Institut for Miljø & Ressourcer givet sig selv den udfordring at opstille en strategi for integreret håndtering af vand, der bygger på princippet om, at København finder sit vand inden for bygrænsen. Dette er en stor udfordring, der så vidt vides i dag ikke er løst andre steder af byer, der befolknings- og arealmæssigt er sammenlignelige med København. At opstille en selvforsyningsstrategi for København er en proces, der bør overvejes og undersøges grundigt, før man endeligt beslutter, hvordan fremtidens vandhåndteringssystem skal se ud. Selvforsyning af vand i København vil betyde nye teknologier, forsyningssystemer og måder at tænke vandhåndtering på, der ikke er set før. Det bliver nødvendigt for samfundet at tænke i helt nye baner og tage et opgør med "det plejer vi at gøre" mentaliteten, hvis det skal kunne lade sig gøre. Et opgør med vandforsyningens hellige køer der foreskriver, hvad der kan, og specielt, hvad der ikke kan lade sig gøre vil, være en nødvendighed, hvis forsyningen af drikkevand og bortledningen af spildevand skal laves grundlæggende om.

Vandbalance

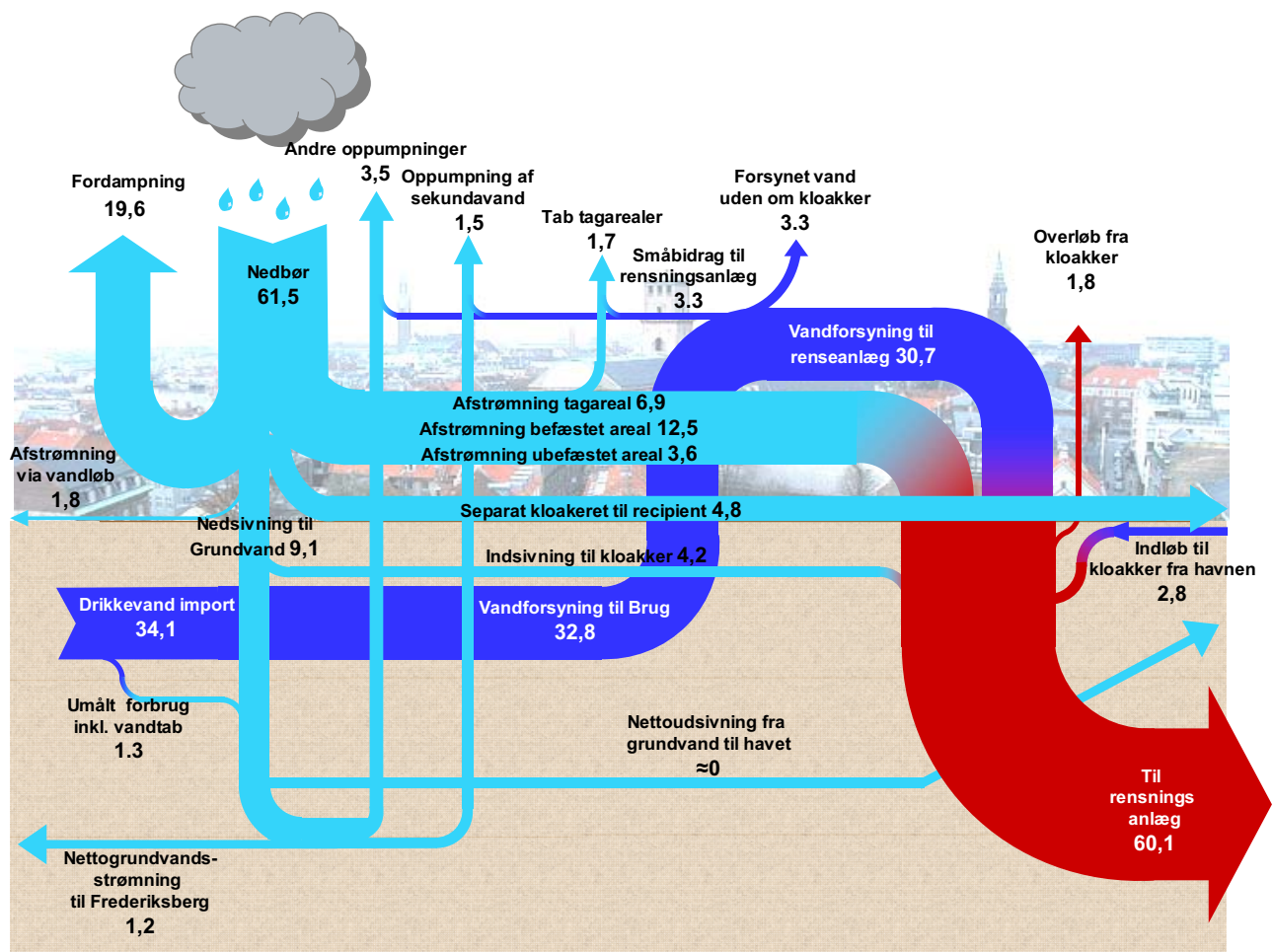
En vigtig forudsætning for at opstille nye strategier for vandforsyningen i København er at have overblik over den ressource, der er til rådighed. Figur 2 viser en vandbalance, der dækker de væsentligste vandstrømme i København. Formålet med vandbalancen er at skabe et godt kendskab til de vigtigste vandstrømme i København. Vandbalancen vil være en del af grundlaget i et senere projekt, der skal opstille scenarier for Københavns fremtidige vandsystem. Geografisk dækker vandbalancen Københavns kommune, dvs., at det område der er opstillet en vandbalance for, er et ringformet område med et hul i midten, hvor ringen er Københavns kommune og hullet i ringen er Frederiksberg kommune. Københavns kommune, de omkringliggende kommuner og KE's forsyningsområde kan ses på Figur 1.

Langt størstedelen af vandet kommer ind i byen enten som importeret drikkevand eller som



regnvand, en meget begrænset mængde vand pumpes op fra grundvandet. På vandets vej gennem byen forsvinder en del af vandet. En del af regnvandet, specielt fra de ubefæstede og ukloakerede arealer fordamper eller infiltrerer til grundvandet. I vandforsyningsnettet er der et lille tab på grund af brud på ledninger, og under brug er der en del af vandet, der spildes og ikke ender i kloakken. Under kraftig regn bliver kloaksystemet overbelastet, og vand fra kloakkerne ledes direkte ud til enten et vandløb, havnen eller havet. Omvendt kan der i visse situationer trænge vand ind fra havnen i kloaksystemet. Både antallet af regnbetingede overløb og indtrængende havvand er faldet siden midten af 1990'erne. Størstedelen af vandet, over 60 % kommer ud af byen igen via to store rensningsanlæg og ender efter rensning i Øresund. Kildehenvisninger, baggrund og beregninger for alle strømme kan ses i bilag 1.

Figur 1 Vandbalancens geografiske udbredelse. Københavns kommune (stiplede linjer er kommunegrænser)



Figur 2 Vandbalance over København år 2003 (10^6 m^3). For detaljer se bilag 1

Fra vandbalancen kan det konkluderes, at potentielt falder der nedbør nok i København til at dække behovet for vand. Næsten alt vandforsyningsvand er importeret fra områder uden for København, i alt 34,1 mio. m^3 . Efter fordampning er der 41,9 mio. m^3 regn tilbage. I alt 27,8 mio. m^3 afstrømmer enten til rensningsanlæg eller direkte til recipient. Hvis København skal basere sin vandforsyning udelukkende på regnvand vil det altså kræve at alt afstrømmende regnvand plus en del af det vand, der infiltreres kan opsamles og anvendes (eller at vandforbruget reduceres). 6,9 mio. m^3 nedbør afstrømmer fra tagarealer, som er den lettest tilgængelige overflade at opsamle nedbøren fra. Tagfladerne er interessante, fordi de er tæt på, hvor vandet bruges og fordi de er de mindst forurenede flader at samle vand op til brugsformål fra. Om en tagflade er velegnet til opsamling af regnvand afhænger meget af tagmaterialet, og under alle omstændigheder vil der være brug for en eller anden form for vandbehandling, før opsamlet regnvand kan anvendes i husstande eller industri. Beregninger foretaget på DTU i 2005 viser, at den umiddelbart let tilgængelige del af regnvandsressourcen vil kunne dække ca. 10 % af behovet for vand i København. På andre befæstede arealer som veje, fortove og pladser faldt der 12,5 mio. m^3 vand. Denne fraktion stiller større krav til rensning, før den kan bruges, da nedbør opsamlet på trafikerede arealer indeholder en del uønskede stoffer. Til gengæld er der tale om en stor vandmængde, der vil kunne dække en stor del af byens vandbehov.

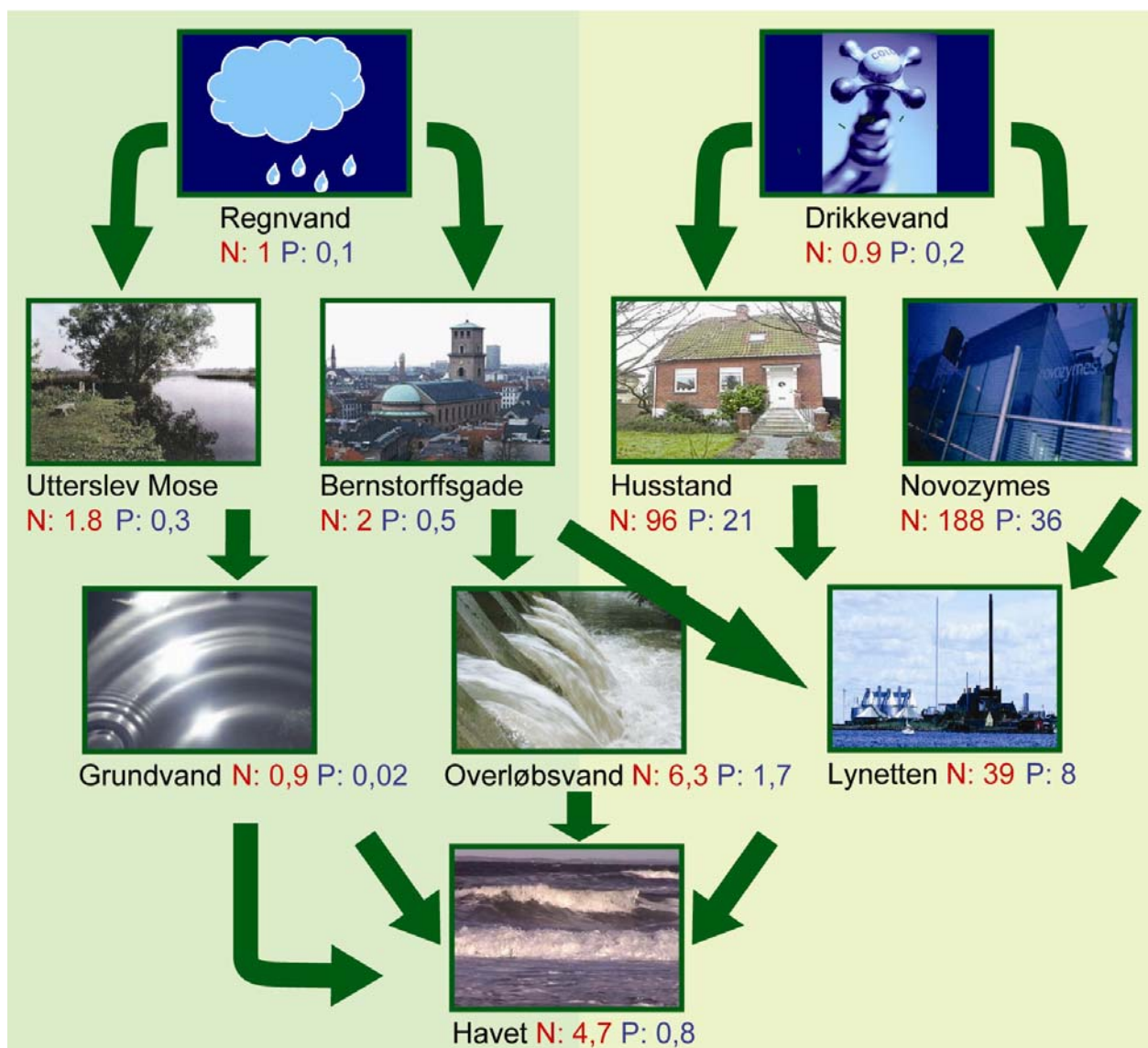
Der er ganske godt styr på spild af vand fra vandforsyningsdelen af vandbalancen, og det er begrænset hvor meget vand, der kan spares yderligere på at minimere tab. Alt spildevand og en stor del af nedbøren, fraregnet en mindre mængde, der løber ud via overløb (60,1 mio. m³), ledes til de to centrale rensningsanlæg, hvor næringsstoffer og organisk materiale fjernes inden spildevandet sendes ud i Øresund. Denne centralisering af spildevandet gør det relativt nemt at genanvende dele af spildevandet. Genanvendelse af spildevand vil kræve en udbygning af de to eksisterende rensningsanlæg med omvendt osmose og desinfektionsanlæg. En anden mulighed er at bruge jorden som efterbehandlingsanlæg og kunstigt infiltrere rensset spildevand. Denne metode har siden 1997 været testet på et forsøgsanlæg ved Arresø, hvor søvand kunstigt infiltreres. Et anlæg der kan levere 4 mio. m³ vand om året er under projektering. Hvis der opsamles regnvand til brug i husstande eller industri f.eks. fra tagflader, vil mængden af regnvand, der ledes til rensningsanlægget reduceres tilsvarende. Indenfor Københavns kommunes grænser er udnyttelsen af grundvand meget begrænset, der er nogle oppumpninger af sekundavand der bruges til industrielle formål, derudover er der en del oppumpninger i forbindelse med byggeprojekter. Men både i de omkringliggende kommuner (Gladsaxe, Rødovre, Hvidovre og Tårnby) og i Frederiksberg er der betydelige vandindvindinger fra grundvandet til drikkevandsformål.

Der er foretaget en overordnet usikkerhedsvurdering af de beregnede vandstrømme for at få en fornemmelse af vandbalancens pålidelighed. Usikkerhedsvurderingen er foretaget som et overordnet skøn ud fra de tilgængelige oplysninger om den enkelte vandstrøm, viden om den metode, der er anvendt, og ud fra om det har været muligt at estimere den samme værdi på anden måde. En kort begrundelse for hver enkelt usikkerhed kan læses i bilag 1.

Usikkerhedsvurderingen viser, at der er ret godt styr på vandbalancen i København, særligt på de største strømme (samlet nedbør, nedbør på befæstet areal, import af drikkevand og vand til rensningsanlæg), hvor usikkerheden er relativt lille, under eller omkring 10 %. Af økonomiske årsager kendes drikkevandsforbruget og mængden af vand, der ledes til rensningsanlæg ganske godt. På nogle af de mindre strømme som vandforsyningsvand, der ikke når kloakken, er usikkerheden noget større, op til 50 %. En stor del af usikkerheden skyldes mangel på viden, og nærmere undersøgelser vil sikkert kunne reducere usikkerheden betragteligt. Usikkerheden på vand, der tabes fra tagarealer kan f.eks. reduceres ved konkrete sammenhørende målinger af nedbør og opsamlet vandmængde, som der ikke findes ret mange af i dag. I den samlede vandbalance betyder den store usikkerhed på de små strømme dog ikke så meget, netop for de volumenmæssigt er af mindre betydning. Samlet set er der, også i sammenligning med andre storbyer, ganske godt styr på vandets kredsløb i København. En vandbalance med denne detaljeringsgrad og usikkerhed er et værdifuldt grundlag, når der skal overvejes teknologiske tiltag der øger selvforsyningsgraden i København.

Vandkvalitet

Ud over vandmængderne er det også væsentligt at have et overblik over vandkvaliteten i det urbane vandkredsløb. Figur 3 giver et overblik over vandkvaliteten med hensyn til næringsstofferne kvælstof og fosfor forskellige steder i det urbane vandkredsløb, fra regnvand og drikkevand over forskellige anvendelser i byen, til det igen forlader byen via overløb eller rensningsanlæg. Referencer til de opgivne værdier kan ses i bilag 1.



Figur 3 Oversigt over vandkvaliteten mht. næringsstofferne N og P forskellige steder i vandets kredsløb. For detaljer se bilag 1. På nær Lynetten og havet er alle andre koncentrationer udløbskoncentrationer. Koncentrationerne for Lynetten er indløbskoncentrationen til rensningsanlægget. Koncentrationen for havet er den koncentration vandet har når det forlader byen, altså udløbskoncentrationen fra rensningsanlægget.

Det generelle billede er, at når vandet kommer ind i byen, har det et lavt indhold af næringsstoffer. Regnvand, der endnu ikke har ramt en overflade, er mht. næringsstoffer (N og P) næsten lige så rent som drikkevand. På vandets vej gennem byen stiger indholdet af næringsstoffer. Regnvandets næringsstofkoncentrationer stiger, fordi der imellem de enkelte regnskyl samles kvælstof og fosfor på tagoverflader, fortøve m.m. Næringsstofferne stammer fra organisk materiale (blade, græs, dyrkeekskremitter osv.), atmosfærisk nedfald eller sedimenter, hvor der er bundet næringsstoffer.

En væsentlig funktion for vandet i byen er at være transportmedie for affald. Det ses tydeligt på Figur 3, hvor indholdet af næringsstof stiger 100 gange, efter at vandet har været brugt i en almindelig husstand. De væsentligste kilder til kvælstof og fosfor fra en husstand er toilettet og

køkkenvasken (madrester). Industrispildevand bruges også til at transportere næringsstoffer og andet affald væk. Fra visse typer af industri kan indholdet være meget højt, på figuren er vist et eksempel fra Novozymes, hvor koncentrationerne er dobbelt så høje som i husspildevand. Når spildevandet kommer til rensningsanlægget, er det en blanding af afstrømmet regnvand, husstandsspildevand og industrispildevand, blandingen har et indhold af næringsstoffer, der er lidt under det halve af, hvad det er når vandet forlader en husstand. Rensningsanlægget fjerner ca. 90 % af næringsstofindholdet. Dette betyder, at næringsstofindholdet i vandet er 5-10 gange højere, når det forlader byen, end når det kommer ind i byen.

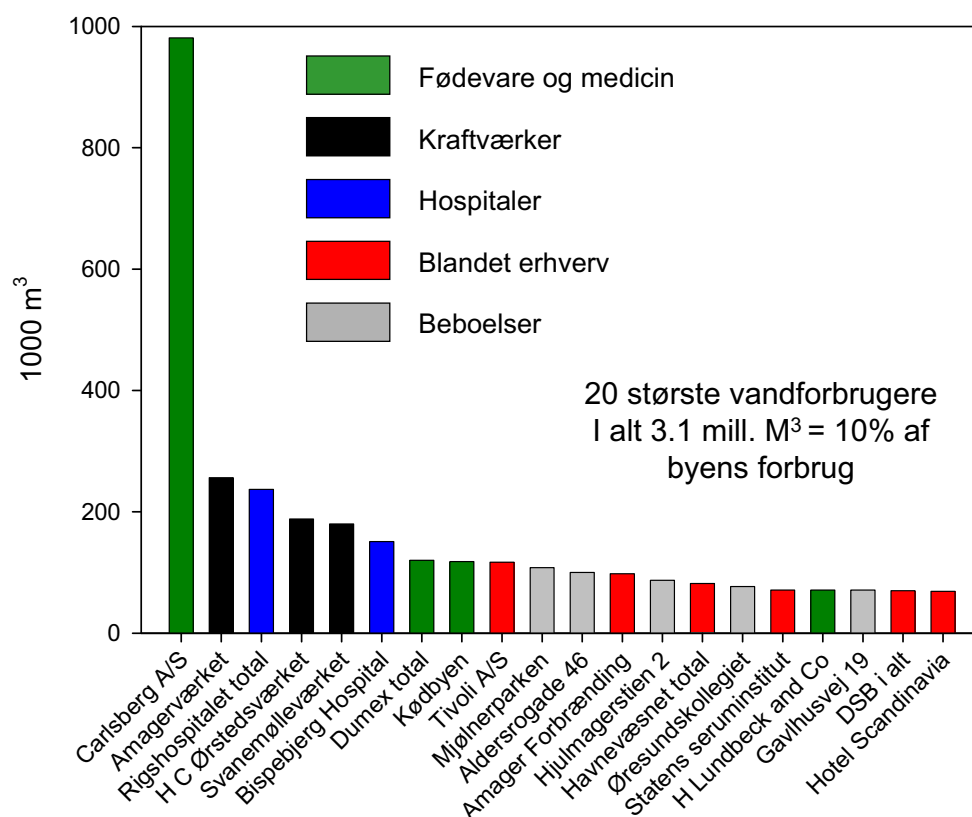
Vandkvalitet er meget andet end næringsstoffer. Tabel 1 er en oversigt over andre typer af vandkvalitetsproblemer for forskellige fraktioner af vand. Tabellen omfatter problemer, i forhold til at udnytte den enkelte fraktion som vandressource (regnvand) eller som den nuværende behandling ikke tager højde for (grundvand og spildevand). Nogle problemer er allerede nu en realitet, som f.eks. metaller og pesticider, og andre problemer kan blive aktuelle i fremtiden som f.eks. medicinrester i overflade og grundvand. Tabellen viser, at for alle fraktioner af vand er der kvalitetsaspekter, der skal tages højde for, før det kan anvendes til vandforbrug af forskellig art. Tabel 1 skal ikke opfattes som en endelig liste af vandkvalitetsproblemer, særlige stoffer kan i nogle tilfælde skabe særlige problemer, nye kemikalier kan også udgøre nye problemer vi ikke har fået øje på endnu.

Tabel 1 Vandkvalitetsproblemer for forskellige fraktioner af vand

	Parameter									
Fraktion	pH	Aciditet	Chlorid	Metaller	Organiske detergenter	Medicinrester/ hormoner	PAH	Pesticider	Micro- organismer	
Regnvand før kontakt med tagflader	●	●	●							
Regnvand efter kontakt med tagflader	●	●							●	
Regnvand efter kontakt med vejarealer		●	●				●	●		
Grundvand			●	●	●	●		●		
Overflade vand					●	●		●	●	
Husspildevand				●	●	●		●	●	
Industrispildevand				●	●	●	●	●	●	

Storforbrugere

Når det handler om at udvikle nye strategier for, hvordan vandforsyningen skal organiseres, er det interessant at kigge lidt nærmere på de største forbrugeres vandforbrug og hvilke krav der stilles til vandet fra de store forbrugere. De 20 største forbrugere har til sammen et forbrug af vandværksvand på ca. 3,1 mio. m³ om året svarende til lidt mere end 10% af det samlede forbrug af drikkevand i København. Af de store forbrugere er Carlsberg den suverænt største med et vandforbrug der er næsten 4 gange større end Amagerværket på andenpladsen. Carlsberg og de andre store forbrugeres vandforbrug kan ses på Figur 4.



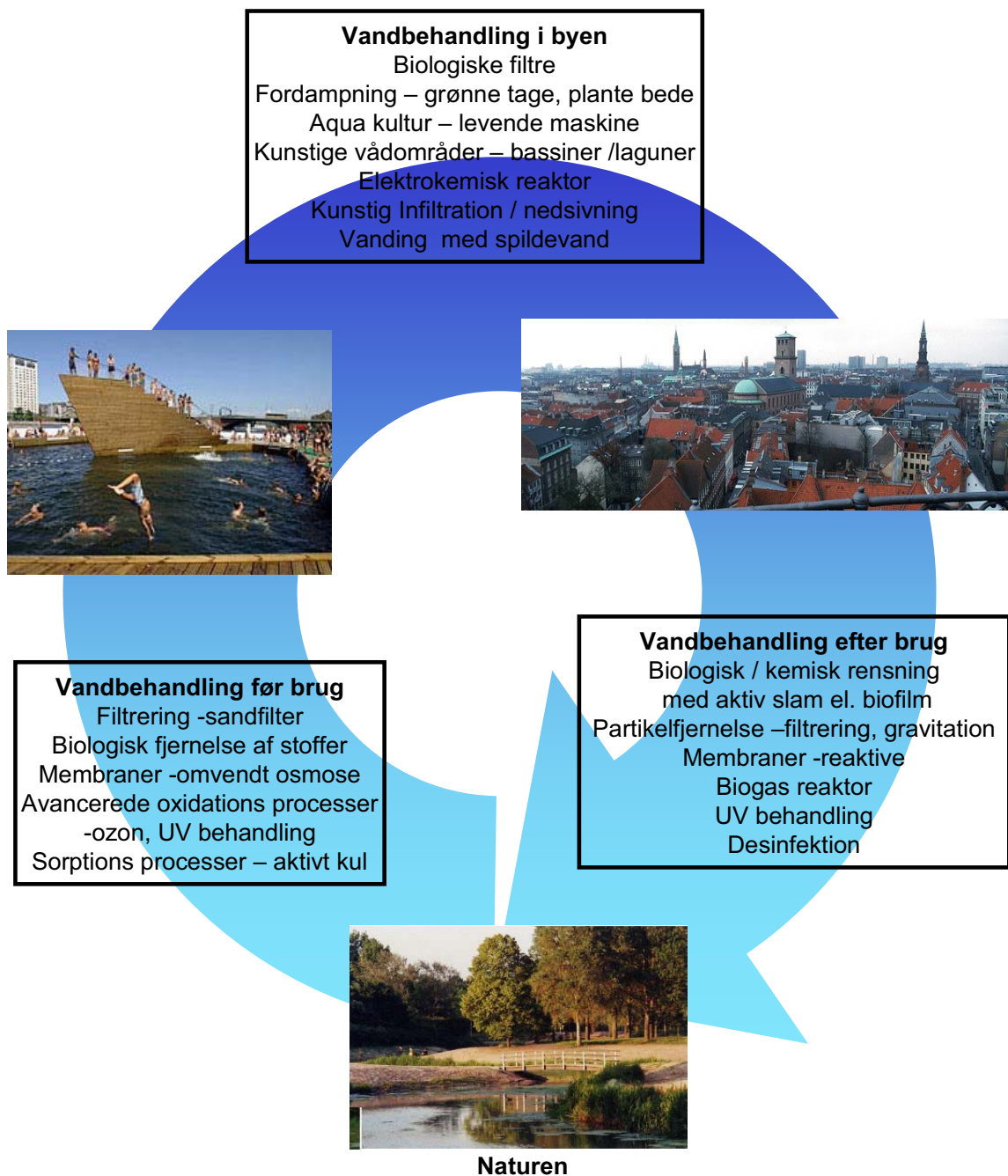
Figur 4 Oversigt over storforbrugere af vandforsyningsvand i København. Figuren omfatter kun leveret vand fra KE, da der ikke eksisterer noget samlet overblik over forbrug af vand af andre kvaliteter.

Storforbrugerne kan inddeles i fem kategorier efter deres måde at bruge vand på: fødevarer og medicinalindustri, kraftværker, hospitaler, blandet erhverv og beboelsesejendomme. I bilag 2 er hver kategori kort beskrevet mht., hvad vandet bruges til, og hvad de forventede krav til vandkvaliteten er. De fleste af de store forbrugere har allerede i en årrække været i gang med at reducere deres vandforbrug. Vandprisen har i længere tid ligget på et niveau, der gør det relevant at minimere vandforbruget alene af hensyn til at optimere driften af virksomheden, men nogle virksomheder bruger også vandbesparelser som en del af markedsføringen af deres miljøprofil.

Fokus på storforbrugernes vandforbrug bliver relevant i det øjeblik, man begynder at overveje levering af vand af forskellige kvaliteter. Nogle af storforbrugerne vil være potentielle aftagere af ret store mængder vand, der ikke lever op til drikkevandskvalitet. En del af dette potentiale er allerede udnyttet, de 20 største forbrugere anvender årligt ca. 900.000 m³ vand af anden kvalitet end drikkevandskvalitet, hvilket svarer til mellem 20 og 25 % af storforbrugernes samlede vandforbrug og andelen er stigende. Størsteparten af sekundavandet, ca. 800.000 m³ bruges af Amagerværket, som bruger afdrænet vand fra Øresundsforbindelsen i det omfang, det er muligt, og Amager-forbrænding, der bruger afsaltet havvand til bl.a. røggasrensning. På den mellemstore skala laver flere og flere tøjvaskerier enten opsamlingsanlæg til regnvand eller anlæg, der renses og genbruger vandet lokalt. Nogle vaskehaller til biler er også begyndt at bruge enten regnvand eller sekundavand. En vaskehal kan typisk spare omkring 2500 m³ drikkevand om året ved genbrug eller opsamling af regnvand. Regnvand er fordelagtigt til brug i vaskerier, da vandet er blødt og derfor reducerer den nødvendige mængde vaskemidler. Langs med havnen har flere nybyggede kontorhuse i de senere år lavet køleanlæg, der anvender havvand. De tilgængelige informationer om det vanforbrug, der ligger ud over KE's leverancer er noget tilfældige. Generelt er der brug for mere information om forbruget af vand af andre kvaliteter, der eksisterer ikke noget samlet overblik over hvor meget vand af andre kvaliteter end drikkevandskvalitet der bruges i København i dag.

Teknologier til rensning af drikkevand og spildevand

Vandets kredsløb kan kort beskrives ved, at vandet hentes i naturen, bruges inde i byen og returneres til naturen igen. Undervejs er det nødvendigt at rense vandet, både før brug, så det kan anvendes til forskellige formål, bl.a. til drikkevand, og efter brug så udledning ikke belaster naturen mere end det er nødvendigt. Den nuværende vandhåndtering i København består i grove træk i, at relativt rent grundvand pumpes op ude på Sjælland. Før vandet kan drikkes, er det blot nødvendigt at belufte, filtrere og ilte vandet, bl.a. for at fjerne gasser og jern. Herefter transporteres vandet ind i byen, hvor det bruges til mange forskellige formål. Efter brug opsamles alt spildevand på centrale rensningsanlæg, hvor vandet renses mekanisk, kemisk og biologisk. Men som Figur 5 på næste side viser, er der mange behandlingsmuligheder at vælge imellem, og når der skal designes et vandhåndteringssystem til en by af Københavns størrelse er kombinationsmulighederne næsten uendelige. Hvilken løsning, der passer bedst netop til København, kræver en grundig analyse, hvor løsningerne vurderes i forhold til hinanden og, hvor mange forskellige kriterier inddrages i analysen. På bilag 3 kan ses en mere udførlig liste over relevante teknologiske muligheder for håndtering af vand.



Figur 5 Oversigt over teknologiske muligheder for behandling af vand. Se flere teknologiske muligheder i bilag 3. Nogle teknologier kan placeres flere steder i kredsløbet. F. eks kan UV-behandling bruges både før brug (ved brug af overfladevand) eller efter brug (udledning til særlig følsom recipient).

Til en beskrivelse af vandhåndteringen i København hører, ud over en beskrivelse af de processer vandet gennemgår også en beskrivelse af, hvordan vandet opbevares, både før det kommer ind i byen, mens der er i byen, og når det forlader byen igen. Det næste afsnit giver et overblik over de muligheder der er for at opbevare vand enten som råvand, der senere kan oparbejdes til drikkevand, eller som drikkeklart vand.

Opbevaringsoversigt



Flaskevand Danmark har et stigende forbrug af flaskevand. I 2002 brugte vi 2-3 millioner liter per kvartal, og forbruget voksede til 21 millioner liter i tredje kvartal 2003. Vand af høj kvalitet kan oplagres på flasker. På trods af stærkt stigende forbrug, svarer det samlede forbrug af flaskevand til mindre end et døgn forbrug af vand per år.

Rørsystemet Københavns ledningsnet opbevarer vand, men denne kapacitet er vanskelig at udnytte. I vandledningerne alene oplagres vand til ca. 2,5 dages forbrug. Kloakledningerne har et volumen svarende til ca. 2,5 dages produktion af spildevand. Lidt under halvdelen af dette volumen udgøres af ledningerne inde i byen, resten er i transmissionsledningerne fra vandværker til nettet i byen.

Central opbevaring København råder over et antal centrale opbevaringstanke for drikkevand, dels højdebeholdere, dels rentvandstanke ved vandværkerne. I alt kan der opbevares ca. 4 dages forbrug i de centrale tanke. I afløbssystemet er der indbygget bassiner, primært til at reducere udledningen af urensset vand til recipienterne. Bassinerne har et volumen svarende til ca. 2 dages vandforbrug.

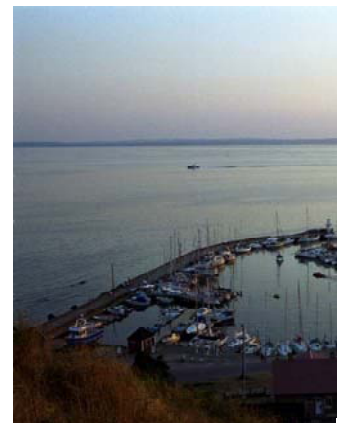
Decentral opbevaring Mange lande indbygger vandtanke i bygninger, men den mulighed er meget lidt brugt i København. 1 m³ rækker i ca. 2-3 dages vandbehov hos en familie på 4 personer.

Grundvand København ligger ovenpå et stort grundvandsmagasin. Den naturlige grundvanddannelse er ikke særlig stor, men magasinet kan udnyttes ved f.eks. et infiltrere regnvand eller rensset spildevand. Af hensyn til bygninger m.m. må grundvandstanden i dele af København ikke variere ret meget. Groft anslået rummer grundvandsmagasinet teoretisk set vand nok til ca. 65 års forbrug af vand.



Åer og søer indgår ikke i det nuværende vandforsyningssystem, men har et stort volumen som potentielt kunne udnyttes. De Københavnske søer har et volumen på ca. 4 mio. m³ svarende til omkring 7 ugers forbrug af vand.

Havet er i princippet en ubegrænset ressource, men vandet skal afsaltes før brug. Drikkevand fra afsaltet havvand er en teknologi i fremgang på verdensplan.



Inspirationsforslag

For at give inspiration til fremtidigt vandforsyningssystemer, og som et første skridt i det kommende arbejde med opstilling af scenarier, er der indsamlet informationer om en række forskellige projekter fra Danmark og den øvrige verden. Tabel 2 indeholder en oversigt over de forskellige projekter, der er hentet inspiration fra. Listen skal ikke opfattes som en endelig liste, men som inspiration til at opstille nogle robuste scenarier for fremtidens vandforsyning i København, og som eksempler på, at vandhåndtering kan indrettes på andre måder, end den vi kender i dag. Alle projekter nævnt i Tabel 2 er beskrevet yderligere i bilag 4.

Tabel 2 Liste over inspirations projekter

	Projekt	Tema
1	Sydney, Australien: Meeting the future	Sikring af drikkevand i Sydney
2	Rousehill, Sydney, Australien: Genbrug af spildevand	22.000 husstande bruger genbrugt spildevand i toiletter, til bilvask, vanding m.m.
3	PUB Singapore: Water for all	Omfattende langsigtet plan der skal gøre Singapore selvforsynende med drikkevand
4	Augustenborg, Malmø, Sverige: Bæredygtig "water management"	Bl.a. synliggørelse af vand, grønne tage, vand som løftestang i kvartersløft.
5	Frederiksberg, Det økologiske inspirations hus	Indeklima styring vha. regnvand, grønt rensningsanlæg og urinseparation m.m.
6	Hammarbysjöstad, Stockholm, Sverige:	Byøkologisk bydel, lokal håndtering af alt spildevand
7	Debishaus, Potsdamer Platz, Berlin, Tyskland:	Stort kontorhus, der opsamler regnvand til toiletter og nærliggende grønne områder
8	Tingbjerg, København: Nedsivning af regnvand til brug i rekreativt område	Udnyttelse af regnvand på omkringliggende friarealer
9	Amager, Amagerværket: Smart vandforbrug	Erstatning af vandværksvand hvor det er muligt
10	Hurup, Thy, Nordjysk folkecenter for vedvarende energi	4 forskellige rensningsanlæg, der bruger planter til rensning
11	Ecoporten, Norrköping, Sverige	Urinsorterende toiletter, lokal håndtering af spildevand
12	Vestamager: Indvinding af brakvand	Potentialet for indvinding af vand på Vestamager
13	Figtree Place, Australien	Nedsivning af regnvand til grundvand
14	Nijmegen, Holland: Contextual water management,	Omstrukturering af vandsystemet bl.a. tilskudsordninger til regnvandstønder og udbredt borgerinddragelse
15	Henderson marinebase, Freemantle, Australia:	Afsaltningsanlæg drevet af bølgeenergi
16	Perth Australia	Storskala afsaltningsanlæg
17	Holland: Det grønne kontorhus	Opsamling af regnvand i "grønne bede" til brug for køling og klimastyring af kontorhus
18	Parcelhus, Danmark	Eksempel på opsamling af regnvand i enfamiliehus til vask og toilet
19	København, Ida's kontorhus	Opsamling af regnvand til toiletskyl i kontorhus
20	Kalmars tekniske højskole, Sverige	Urinsorterende toiletter, udnyttelse af næringsstoffer
21	Skogaberg, Göteborg, Sverige	Genanvendelse af næringsstoffer fra sort spildevand

- Alle projekter handler om anderledes måder at skaffe vand til vandforsyning eller behandling af spildevand på, set i forhold til det system, der er i København i dag, og er indenfor hvert sit område noget af det mest ambitiøse, der er set.
- Alle projekter indeholder elementer, der har interesse for arbejdet med at opstille scenarier for vandforsynings og spildevandssystemer i København.
- Projekterne er udvalgt, så de afspejler så bredt et spektrum så muligt teknologisk, geografisk og udviklingsmæssigt.

For at sikre, at listen afspejler forskellige måder at tænke på og bredest muligt repræsenterer status på, hvad der kan lade sig gøre lige nu, er der indsamlet eksempler fra et meget stort geografisk område lige fra Københavns havn og Frederiksberg til Singapore og Sydney. I det kommende arbejde med at opstille scenarier for et selvforsynende København, er der brug for et meget bredt spektrum af teknologier. Derfor er der hentet eksempler, der omfatter en enkelt husstand og andre der omfatter mere end 5 mio. mennesker, projekter der er afhængige af brugerinddragelse og andre, der er centralt styrede og projekter, der omfatter alle fraktioner af vand: regnvand, gråvand, spildevand og drikkevand. Listen omfatter hele det teknologiske spektrum lige fra den levende maskine, der renser spildevand i bassiner med forskellige planter til osmotiske anlæg, der er drevet af bølgeenergi ligesom der er eksempler fra alle udviklingsfaser fra de første ideer på tegnebrættet, pilotanlæg der tester teknologierne i brug, til fuldt udbyggede projekter der har kørt i flere år. Hvor det har været muligt, er der også kigget på, hvor dyre projekterne er at gennemføre.



Amagerværket
Hvilken kvalitet er
nødvendig?



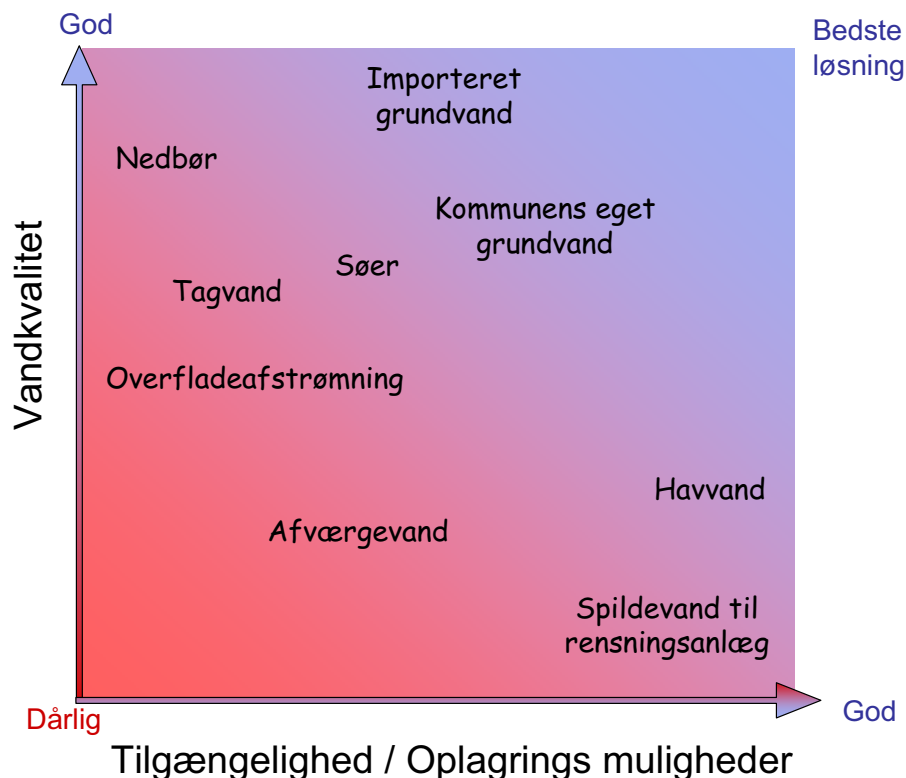
Debis Hauss Berlin.
Kontorhuse kan være
økologiske !



Det Økologiske.
inspirationshus
Frederiksberg
Kan et hus være
selvforsynende?



Newwater fra Singapore
Spildevand kan drikkes !



Figur 6 Forskellige vandressourcer vurderet efter to kriterier: tilgængelighed og vandkvalitet

På de foregående sider er vandressourcen i København beskrevet, og der er givet et indblik i de teknologiske muligheder, der er at vælge imellem. At opstille et nyt system for håndtering af drikkevand og spildevand i København, der kan fungere lige så længe som det eksisterende system har gjort kræver, at mange muligheder overvejes, stilles op mod hinanden og evalueres. Figur 6 viser et første simpelt bud på, hvordan man kan vurdere ressourcer og teknologier i forhold til hinanden. Figuren viser tilgængeligheden af forskellige vandressourcer i forhold til den enkelte ressources kvalitet. Jo længere oppe imod øverste højre hjørne på figuren, vandressourcen er placeret, jo tættere er den på den optimale vandressource. Afstanden fra vandressourcen til den optimale løsning siger også noget om, hvor meget der skal til for at vandressourcen kan indgå i vandforsyningen (Lodret afstand repræsenterer det teknologiske behov, dvs. hvor meget rensning der er nødvendig. Vandret afstand repræsenterer behovet for opbevaring). Som det fremgår af figuren er der stor forskel på hvad de enkelte ressourcer kræver før de kan indgå i vandforsyningen. Havvand og spildevand er ressourcer hvor tilgængeligheden er god, havet er uudtømmeligt og spildevandet flyder hele tiden. Til gengæld kræves der en hel del rensning før disse ressourcer kan anvendes. På den anden side regnvand en ressource af rimelig god kvalitet der ikke kræver ret meget rensning, men da tilgængeligheden er dårlig, det regner ikke lige meget hver dag, er der store krav til opbevaringskapacitet. Dette er blot to af de kriterier, man kan inddrage, andre kriterier kunne være økonomi og borgerinddragelse.

Udfordringer

Ressourcemæssigt og teknologisk set er et selvforsynende København inden for rækkevidde. Der er masser af vand i og omkring København, bare ikke af den slags vand, vi er vant til at bruge. Den nødvendige teknologi, der skal til, for at vandressourcerne kan blive til drikkevand, eksisterer for en stor dels vedkommende allerede og anvendes andre steder i verden. Selv om der er godt styr på vandets bevægelse i København er der behov for at vide mere om, specielt de store forbrugeres forbrug af vand af anden kvalitet end drikkevandskvalitet.

At gøre København selvforsynende med vand er en stor udfordring, der vil kræve mange og store ændringer i forhold til det system, vi kender i dag. Vandets vej gennem byen kommer til at se helt anderledes ud, og dette vil kræve store økonomiske investeringer i infrastrukturen. Derfor er det vigtigt, at den strategi, der til sidst bliver valgt, er ordentligt gennemtænkt. Også mentalt, socialt og juridisk er store ændringer nødvendige. Juridisk er man nødt til at revidere en række centrale definitioner som, hvad er drikkevand, hvad er spildevand og hvad er en vandressource? Brugt vand, altså spildevand, der genbruges er et godt eksempel på en ressource, der ikke passer ind i de definitioner, der bruges i dag. En stor del af udfordringen består i, at grundvandsdannelsen er alt for lille til, at vandforsyningen kan løses på traditionel vis, for mange københavnere er samlet på et lille og tæt bebygget areal. Derfor er man nødt til at inddrage andre vandressourcer end grundvand. Den hydrologiske udfordring kan også være den drivende faktor, der tvinger kreativ tankegang og alternative løsninger igennem, simpelthen fordi det er nødvendigt. Københavnerne er vant til, at alt det vand, vi bruger i dag, er af den bedste kvalitet. Fremtiden kan meget vel se anderledes ud, måske sælges der vand i flere kvaliteter, måske er der forskel på prisen forskellige steder i byen og på forskellige tidspunkter af døgnet, måske er der krav om hvilke rengøringsmidler, der er tilladte fordi nogle rengøringsmidler skader processerne i spildevandsrensningen eller hæmmer potentialet for at genanvende næringsstoffer. Mentalt er der også et stykke arbejde, der skal gøres. Mange københavnere vil rynke på næsen af, at det vand, der bliver sendt ned i kloakken i dag, kommer tilbage som drikkevand i morgen, men også dette er et af de mulige scenarier for fremtiden. Et selvforsynende København kræver, at borgerne er mere bevidste om vandets kredsløb end de er i dag. Visionen om den blå by, hvor vandet er mere synligt og kan bruges mere aktivt end vi har været vant til, kan være med til at øge Københavnernes bevidsthed om vandets kredsløb. Projekterne omkring Københavns havn med bl.a. havnebadene har delvist allerede startet den proces med at øge bevidstheden om vandets kredsløb ved at gøre vandet til et aktiv, som alle københavnere er fælles om.

I 1985 var der ikke mange, der troede på, at det i 2005 ville være muligt at bade i Københavns havn, men det er som bekendt muligt i dag. At gøre København selvforsynende med vand vil kræve en indsats og en beslutsomhed fra alle parter på mindst samme niveau og med mindst samme tidshorisont, som det har været tilfældet med Københavns havn. En ny systemtilgang, hvor alle led i vandets kredsløb fra vandressource til spildevandsrensning og tilbage igen til vandressource, integreres i et fælles system vil være et nødvendigt skridt. Første trin i processen er denne rapport, der giver et overblik over ressourcer og teknologier. Næste skridt er at få nogle scenarier på bordet og sammenligne dem vha. multikriterievurderinger. Efterhånden som fremtidens strategi begynder at materialisere sig, skal borgerne inddrages, og der skal udarbejdes planer for hvordan strategien skal implementeres. Mange gange undervejs vil der opstå behov for viden både om det overordnede system og om specifikke detaljer, derfor skal der sideløbende foregå vidensindsamling og tekniske undersøgelser.

Integreret håndtering af vand og spildevand i København:

**Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt
eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand**

Januar 2006

Bilag 1 Vandbalance og vandkvalitet, detaljer og baggrund

Projekt A.1.

*Mikkel Boye Hauger og Philip John Binning
Institut for Miljø & Ressourcer, DTU, 2006*



Bilag til beregning af vandbalance for København

Nærværende notat, beskriver grundlaget for den vandbalance der er opstillet for København. I opbygningen af vandbalancen er der taget udgangspunkt i Markussen, 2002. Alle strømme er opgjort ud fra tilgængelige oplysninger for så vidt muligt for året 2003. Der er blandt andet hentet oplysninger fra de versioner af spildevandsplanen og vandforsyningsplanen der var gældende i 2003, ligesom der er hentet oplysninger fra andre publikationer fra Københavns Energi, Miljøkontrollen og Københavns kommune.

1 Resultater

Tabel 1 Oversigt over væsentligste vandstrømme i København i 2003.

Afsnit/Vandstrømme	Volumen $10^6 \text{ m}^3/\text{år}$	Usikkerhed
2.1 Vandforsyning		
2.1.1 Import fra andre kommuner	34,1	< 5%
2.1.2 Umålt forbrug inkl. Vandtab	1,3	+/- 15 -20%
2.1.3 Vandforsyning til brug	32,8	+/- 5%
2.1.4 Forsynet vand som ikke ender i kloakker	3,3	+/- 50 %
2.1.5 Forsynet vand i spildevandssystemet	30,7	+/- 5-6 %
2.2.3 Nedbør hele København	61,5	+/- 5-10 %
2.2.4 Nedbør på tagareal	8,6	+/- 5-10 %
2.2.5 Heraf tabt nedbør på tagareal	1,7	+/- 80 %
2.2.6 Afstrømning på befæstet areal, ikke tag	12,5	+/- 10 %
2.2.7 Nedbør ubefæstet areal	21,0	+/- 5-10 %
2.2.8 Heraf afstrømning ubefæstet areal	3,6	+/- 50 %
2.2.9 Nedbør separat kloakeret areal	12,1	+/- 5-10 %
2.2.10 Separat til rensningsanlæg	0,3	+/- 10-15 %
2.2.11 Til recipient fra separat kloakerede arealer	4,8	+/- 10-15 %
2.2.12 Nedbør på ikke kloakeret arealer	7,4	+/- 5-10 %
2.3 Overløb	1,8	+/- 10 %
2.3.1 Overløb til marineområder	0,8	+/- 10 %
2.3.2 Overløb til ferskvandsområder	0,4	+/- 10 %
2.3.3 Udløb af separat regnvand	0,6	+/- 10 %
2.3.4 Indløb til kloak fra havn	2,8	+/- 20 %
2.4 Spildevand		
2.4.1 Hushold. og industri spildevand til renseanlæg	30,7	+/- 10 -15%
2.4.4 Regnvand til renseanlæg	27,5	+/- 10 -15%
2.4.6 Indsivning	4,2	+/- 50 %
2.4.7 I alt til rensningsanlæg	60,1	+/- 5 %
2.5 Andre		
2.5.1 Fordampning	19,6	+/- 25 %
2.5.2 Grundvandsstrømning til Frederiksberg	1,2	+/- 30 %
2.5.3 Afstrømning via vandløb	1,8	+/- 15 - 20 %
2.5.4 Oppumpning af sekundavand	1,5	+/-10 %
2.5.5 Andre oppumpninger	3,5	+/-10 %
2.5.6 Småbidrag til rensningsanlæg	0,9	+/-10 %
2.5.7 Nettoudsivning til havet fra grundvand	≈ 0	
2.5.8 Nedsivning til Grundvand	9,1	+/- 25 %

2 Beregninger

I det følgende er gennemgået de beregninger der ligger til grund for de resultater der kan ses i Tabel 1.

2.1 Vandforsyning

2.1.1 Import fra andre kommuner:

(Københavns Statistiske Kontor. 2005, 2003 værdier)

$$\underline{34,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$$

2.1.2 Umålt forbrug:

Tabel 2 Oplysninger om vandforbrug (Københavnerne grønne regnskab 2003, p 13).

Forbrugstyper	L per person per dag
Forbrug	127
Erhverv	39
Andet (sport, institutioner m.m.)	14
Umålt forbrug	7

- Indbyggertal (01.01.03): 501.285 personer
(<http://www.kbhbase.kk.dk/kbhbase/pegasus.nsf/url/fakta>)

$$\begin{aligned}\text{Umålt forbrug} &= \text{umålt forbrug per person} * \text{indbyggerantal} \\ &= 7 \text{ l/p/d} * 365 \text{ dage} * 501285 \text{ personer} = \underline{1,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}\end{aligned}$$

Til sammenligning

- Vandtab i ledningsnettet $\underline{= 3,5 \text{ m}^3/\text{km}/\text{dag}}$
(Københavns Kommune 2001, p35, 2000 tal)
- Ledningsnet = 155km (hovedledninger) + 765km (forsyningsledninger) = 920km.
(Københavns Kommune 2001, p31, 2000 tal).
- Vandtab i hoved- og forsynings ledninger
 $= 920 \text{ km} * 3,5 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{km} * 365 \text{ dage} = \underline{1,18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$
- Også (Københavns Kommune 2001, 2000 tal) p 53. $\underline{= 1,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$
- Vandtab efter vandmåleren er ikke inkluderet her, det tæller med som en del af forbruget da forbrugeren selv betaler for dette spild betaler forbrugeren for.

2.1.3 Vandforsyning til brug

$$\begin{aligned}\text{Vandforsyning til brug} &= \text{Import fra andre kommuner} - \text{umålt forbrug} \\ &= 34,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 1,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} = \underline{32,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}\end{aligned}$$

2.1.4 Forsynet vand som ikke ender i kloakker

Af Tabel 5.4 fra (Albrechtsen 1998) kan det skønnes at cirka 10% af vandet i en typisk københavnsk husholdning ikke ender i spildevandssystemet.

Forbrugsvand uden om afløbssystemet

$$= 32,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} * 0,1 = \underline{3,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$$

2.1.5 Forsynet vand som ender i kloakker

Vandforsyning til brug - Forbrugsvand uden om afløbssystemet + oppumpning af sekundavand

$$= 32,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 3,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} + 1,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} = \underline{30,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$$

2.1.6 Usikkerhedsvurderinger af umålt forbrug og spild

Importen af drikkevand kendes ret godt, fordi der afregnes efter volumen.

Som det ses af ovenstående er tallet for den del af drikkevandet, der ikke går til forbrug, men mistes et sted i systemet og tallet for, hvor meget vand i en husholdning, der ikke ender i kloaksystemet, noget usikkert. Men tallene er dog i sammenligning med andre tal i vandbalancen så små, at selv store variationer ikke har den store betydning. Væsentligt mht. til Københavns selvforsyning er blot at holde disse tal lave.

Det umålt forbrug er ganske godt undersøgt fordi der er tale om et tab KE ikke får betaling for, men der er tale om et stort system og det er vanskeligt at vurdere tabet præcist. Tallet for hvor meget vand i en husholdning der ikke når afløbssystemet er et skøn baseret på vandforbruget fordelt på fraktioner og derfor temmelig usikkert.

Tabel 3 Usikkerhedsvurderinger af umålt forbrug og spild

Usikkerhedsvurderinger:	
2.1.1 Import fra andre kommuner	mindre en 5%
2.1.2 Umålt forbrug	+/- 15-20 %
2.1.3 Vandforsyning til brug	5%
2.1.4 Forsynet vand som ikke ender i kloakker	+/- 50 %
2.1.5 Forsynet vand som ender i kloakker	+/- 5-6 %

2.2 Nedbør

Tabel 4 Data vedrørende nedbør og målestation

DMI Station 30370- botanisk have Korrigeret efter (Allerup et al. 1998)	
Målt nedbør	569,1 mm/år
Korrigeret nedbør	686,4 mm/år
Øvrige data for stationen:	
Middelnedbør	751 mm/år
Standart afvigelse	111 mm/år
Maksimum (korrigeret)	987 mm/år
Min (korrigeret)	497 mm/år
Antal år	43

2.2.1 Usikkerheds vurdering af nedbør

Som det ses af ovenstående varierer årsnedbøren ganske meget fra år til år, med en standard afvigelse på næsten 15% af middelværdien. Dette vil betyde store variationer i de vandmængder der potentielt kan opsamles.

2003 var et relativt tørt år. Målt nedbør 2003 ligger på 25% fraktilen for stationen som helhed.

Om selve målestationen kan siges at der er ret god overensstemmelse mellem de forskellige DMI stationer i hovedstads området. Målingerne er korrigeret i forhold til Allerup et al. (1998). Ifølge (Allerup et al. 1998) er usikkerheden på korrektionsfaktorerne ca. 4%

Ifølge ATV(2003) vil klimaændringer frem til år 2100 betyde en stigning i middelnedbøren på ca. 20%, længere tørvejrperioder samt kraftigere regnhændelser. I den periode som dette projekt omhandler vil disse effekter være ubetydelige.

2.2.2 Fordeling af nedbør på forskellige overflader

- Københavns kommune areal: 89,6 km²
(<http://www.kbhbase.kk.dk/kbhbase/pegasus.nsf/url/fakta>)
- Nedbør: 686 mm/år
- Samlet tagareal = 12,57 km²
(Data fra KE)
- Nedbør tabt pga. afdampning, befugtning m.m. = 20 %
(Albrechtsen 1998, p 35). Der er dog praktiske erfaringer der viser, at tabet varierer mellem 25% og 5% . (Bonde 1995). Der er her regnet med et tab på 20 %
- Kloakeret areal = 6122 ha
(Data fra KE)
- Befæstet andel af kloakeret areal = 50 % * 6122 ha = 30,6 km²
- Ubefæstet andel af kloakeret areal = 50 % * 6122 ha = 30,6 km²
- Afstrømnings koefficient ubefæstede arealer = 0,17
Svarende til at hovedparten af arealerne udgøres af grusvej, faststampet jord m.m (Bahl Andersen m.fl. 1984 p 140-141).
- Befæstelsesgrad separat kloakeret = 0,4 (antages at svare til en lidt lavere befæstelsesgrad end fælleskloakerede arealer)
- På nær en mindre del i Ørestaden (30-40 ha), der afledes til rensningsanlæg, afledes alt afstrømning fra separat kloakerede arealer direkte til recipient. (Sonia Sørensen, KE)
- Ikke kloakeret areal = Ikke kloakeret + vådområder
= 766,8 ha + 312 ha = 1079 ha
(Data fra KE)

Tabel 5 Københavns arealer. Kloakerede og befæstede arealer i København (ha) ud fra fortolkning af oplandskort udført af KE. Vådområder er ikke medtaget i tabellen. Kolonne 1 "samlede arealer" inkluderer også oplandsarealer udenfor kommunen.

	Samlet areal	1 Ikke kloakeret	2 Kloakeret (3+4)	3 Fælles kloakeret	4 Separat kloakeret	5 Samlet (1+2)
Kløvermarksvej	5.116,5	766,8	3.784,2	2.525,6	1.258,6	4.551,0
Damhusåen	5.731,7	0	2.535,1	2.196,6	338,5	2.535,1
Strandvænget	2.458,7	0	1.537,8	1.376,0	161,7	1.537,8
Amager	2.156,5	0	24,1	24,1	0	24,1
I alt	15.163,5	766,8	7.881,2	6.122,4	1.758,8	8.648,0

Tabel 6 Fordeling af regnmængder på forskellige typer nedbør

Arealtype	Beregning	Resultat (x10 ⁶ m ³ /år)
2.2.3 Hele København	89,6 km ² * 686mm/år	61,5
2.2.4 Nedbør Tagareal:	12,57 km ² * 686mm/år	8,6
2.2.5 Tabt tagarealer:	8,623 x10 ⁶ m ³ /år * 0,20	1,7
2.2.6 Befæstet areal ikke tag	(30,6 km ² - 12,57 km ²) * 686mm/år	12,5
2.2.7 Nedbør Ubefæstet areal	30,6 km ² * 686mm/år	21,0
2.2.8 Afstrømning ubefæstet areal	0,17*21 x10 ⁶ m ³ /år	3,6
2.2.9 Nedbør separat kloakeret	17,6 * 686mm/år	12,1
2.2.10 Separat til rensningsanlæg	0,4 km ² * 686mm/år	0,3
2.2.11 Direkte til recipient fra separat	0,4 * 17,6 * 686 mm/år	4,8
2.2.12 Ikke kloakeret arealer	10,8 * 686mm/år	7,4

2.2.13 Usikkerhedsvurderinger af nedbøren på arealtyper

Det må antages at de forskellige arealer har en usikkerhed på ganske få %. På nær tallet for tabt nedbør på tagflader, er den væsentligste variation, variationen fra år til år. Værdierne for samlet nedbør, ikke kloakerede arealer og kloakerede arealer svarer godt til en tilsvarende beregning fra (Miljøkontrollen, 2005 p 54).

Den andel af regnvand der tabes på tagoverfladen er noget usikker (Albrechtsen, 1998 og Bonde, 1995) Angives tallet som en "forventnings værdi" uden yderligere begrundelse. En tabsfaktor på 0,25 er valgt men der nævnes eksempler på anlæg, hvor tabsfaktoren har været helt nede på 0,05. Indsamling af data fra allerede igangværende projekter vil formodentlig relativt hurtigt kunne reducere usikkerheden på tabsandelen.

Afstrømning fra de ubefæstede arealer er også temmelig usikker. Bahl Andersen m.fl. 1984 angiver værdier fra 0,05 til 0,25 afhængigt af arealanvendelsen. Der er her anvendt 0,15 som middelværdi. Der er ikke oplyst nogen befæstelsesgrad for de separat kloakerede arealer, der blot er antaget at svare til de fælleskloakerede arealer, derfor er usikkerheden noget større på dette tal.

Tabel 7 Usikkerhedsvurderinger vedrørende nedbør

Usikkerhedsvurderinger	
Total nedbør i København	+/- 5-10 %
Nedbør på tagareal	+/- 5-10 %
Tabt nedbør på tagarealer	+/- 80 %
Afstrømning på befæstet areal, ikke tag	+/- 10 %
Nedbør på ikke kloakeret arealer	+/- 5-10 %
Afstrømning ubefæstede arealer	+/- 50 %
Nedbør separat areal	+/- 5-10 %
Separat til rensningsanlæg	+/- 5-10 %
Afledning til recipient fra separat	+/- 10 - 15 %
Nedbør ikke kloakeret	+/- 5-10 %

2.3 Udløb til vandområder

Tabel 8 Udløb til forskellige typer af recipienter (Data fra KE)

Kloaktype og recipienttype	Volumen mio. m ³
Fælleskloakker	1,20
2.3.1 Marin	0,8
2.3.2 Fersk	0,4
2.3.3 Separat	0,6
I alt	1,8

2.3.4 Indløb til kloak fra havn

Vurderet til 2,8 mio. m³/år

Der er meget dårligt kendskab til dette tal. I de senere år har der været fokus på at reducere dette tal, men det formodes at der stadig er en væsentlig indtrængning fra havnen. Denne er værdi er brugt til at afstemme vandbalancen så ind og udløbsmængder er identiske. Se afsnit 2.6 Afstemning af vandbalance.

2.3.5 Usikkerhedsvurderinger af udløb til vandområder

Alle værdier for udløb er opgjort af KE og baseret på målinger, så usikkerheden må forventes at være ret lav omkring 10%.

2.4 Spildevand

Lynetten og Damhusåen behandler spildevand fra de otte ejerkommuner Frederiksberg, Gentofte, Gladsaxe, Herlev, Hvidovre, København, Lyngby-Taarbæk og Rødovre, hvilket svarer til et samlet oplandsareal på ca. 123 km².

- Anlæggene behandler tilsammen 85,9 mio. m³ spildevand pr. år (Lynettefællesskabet I/S 2003)

2.4.1 Andel af spildevandet fra Københavns kommune:

Andelen af vand der stammer fra Københavns kommune er et gæt. Baseret på de oplysninger der kan hentes fra Lynettefælleskabets hjemmeside og Lynettefællesskabet (2003)

- Spildevand fra København
(Københavns Energi. 2004)
=Spildevand til Lynetten + Spildvand til Damhusåen
$$=23 \text{ mio. m}^3 + 7,7 \text{ mio. m}^3 = \underline{30,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$$

2.4.2 Importeret spildevand fra øvrige kommuner

- Importeret spildevand fra øvrige kommuner
(Københavns Energi. 2004)
= Spildevand i alt fra Lynetten og Damhusåen – Københavns andel for begge anlæg
$$=(34-23) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} + (14-7,7) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} = \underline{17,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$$

2.4.3 Renset regn og indsivningsvand

- Renset regn og indsivningsvand i alt
(Lynettefællesskabet I/S 2003)
= total vandmængde – spildevand Lynetten – spildevand Damhusåen-overløb til vandområder+overløb fra havnen
$$= 85,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 34 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 1,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} + 2,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$$

$$= 38,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$$

2.4.4 Københavns andel regn og indsivningsvand

- Københavns andel af regn og indsivningsvand

= regnandelen (2.4.3) * (Københavns areal/hele oplandets areal)

$$= 38,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} * (87/123 \text{ km}^2) = 27,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$$

2.4.5 Øvrige Lynetten kommuner andel af regn og indsivningsvand:

- Øvrige Lynetten kommuner

= samlet regnmængde (2.4.3) – Københavns andel

$$= 38,9 \text{ mio. m}^3 - 27,5 \text{ mio. m}^3 = 11,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$$

2.4.6 Nettoindsivning til kloaker

Indsivning til kloaker

Indsivning = Samlet afstrømning – afstrømning tagarealer- afstrømning befæstede arealer – afstrømning ubefæstede arealer – separat arealer til rensningsanlæg

$$= 27,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 6,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 12,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 3,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 0,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} \\ = 4,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$$

Til sammenligning: Indsivning til kloaker = 1,4 mio. m³
(Københavns kommune 2005)

Der er en vis uoverensstemmelse mellem disse to tal. Hvorfor det må konkluderes at indsivnings bidraget er ret usikkert.

2.4.7 Til rensningsanlæg

Samlet mængde vand til rensningsanlæg = Regn + spildevand - overløb til vådområder + overløb fra havn

$$= 27,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} + 30,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 1,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} + 2,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} = 60,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$$

Dette svarer til 70 % af den samlede mængde vand der ledes til rensningsanlæggene, hvilket stemmer godt overens med KE 2004 og Lynettefællesskabet 2003.

2.4.8 Usikkerhedsvurderinger af udløb til vandområder

Den samlede mængde spildevand der renses på de to anlæg kendes ret præcist, tallet er fremkommet ud fra online flowmålinger. Hvor meget af spildevandet der stammer fra København er lidt mere usikkert.

Den samlede mængde vand der sælges i oplandet kendes også ganske præcist.

Men hvor meget af det vand, der bruges, der når afløbssystemet er ret usikkert. Se tabel 5.4 fra (Albrechtsen, 1998) Heraf kan det skønnes at være ca. 10%

Mængden af rensed regnvand er lidt mere usikker fordi den kun kan estimeres som den samlede mængde vand minus det man mener er vanforsyningsvand. Og andelen af regnvandet der stammer fra København er lidt mere usikkert end den samlede regnmængde fordi fordelingen mellem København og de øvrige kommuner er et skøn baseret på forholdet mellem arealerne.

Den fordeling af vand mellem København og de øvrige kommuner i Lynettefællesskabet der her er beregnet, svarer også nogenlunde til den fordelingsnøgle fordeler driften af rensesanlæggene efter (Københavns Energi, 2004).

Tallet for indsivning må siges at være temmelig usikkert, Tallet er fremkommet på baggrund af simuleringer, men stemmer ganske godt med en massebalance over kloakanlægget.

Tabel 9 usikkerhedsvurderinger vedrørende spildevand

Usikkerhedsvurderinger:	
Andel af spildevandet fra Københavns kommune	+/- 5 %
Importeret spildevand fra øvrige kommuner	+/- 5 %
Renset regn og indsivningsvand	+/- 10 -15%
KE andel regn og indsivningsvand	+/- 10 -15%
Regn Øvrige Lynetten kommuner	+/- 10 -15%
Indsivning.	+/- 50 %
I alt til rensningsanlæg fra KBH	+/- 10 -15%

2.5 Andre

2.5.1 Fordampning

- Fordampning ubefæstet areal i København og Frederiksberg (Markussen, 2002, ca. 2000 værdier) $= 21 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$
- Fordampning befæstet areal i København og Frederiksberg (Markussen, 2002, ca. 2000 værdier) $= 6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$

På baggrund heraf er fordampningen vurderet til: $\underline{19,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$

Det er noget lavere end det tilsvarende tal fra (Markussen, 2002). Den samlede fordampning fra København er et af de mest usikre tal i vandbalancen og der findes kun ganske lidt information. Det må forventes at det vil være store variationer i fordampningen fra år til år afhængig af nedbør og temperatur. År 2000 som ligger til grund for Markussens beregning var et af de mest våde år i hele regnserien. Fordi fordampningen er så usikker er fordampningen bl.a. vurderet ud fra de øvrige værdier og an afbalancering af ind og udgående strømme (se 2.6 Afstemning af vandbalance)

2.5.2 Grundvandsstrømning

- Grundvandsstrømning ind i Frederiksberg $\underline{1,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$
- Den samlede oppumpning i Frederiksberg er på ca. 2,5 mio. m^3 om året og ca. 50 % af indvindingsarealet ligger i Københavns kommune (Københavns Kommune, 2005 p54).

2.5.3 Afstrømning via vandløb

- Afstrømning via vandløb i København og Frederiksberg (eksklusiv afstrømning fra separat kloakerede områder)
- (Københavns Kommune, 2005) $= 20 \text{ mm}/\text{år} \cdot 89,6 \text{ km}^2 = \underline{1,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$
- Da Frederiksberg er helt omsluttet af København, kan denne værdi også antages at dække København alene.

2.5.4 Oppumpning af sekundavand:

(Københavns Kommune 2005, p 59, 2004 værdier). $\underline{1,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$

2.5.5 Andre oppumpninger

(Københavns Kommune 2005, p54, 2004 værdier), $\underline{3,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}}$
Værdien er skønnet ud fra figuren

2.5.6 Småbidrag til rensningsanlæg

Af strømmene ”andre oppumpninger”, ”sekundavand” og ”tab tagarealer” antages en mindre del, ca. 12% at ende i spildevandsstrømmen til rensningsanlægget. $0,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$

2.5.7 Nettoindsivning til havet fra grundvand

- Nettoindsivning til havet fra grundvand

(Københavns Kommune, 2005 p 54)

≈ 0

Da Frederiksberg er helt omsluttet af København, kan denne værdi også antages at dække København alene.

2.5.8 Nedsivning til grundvand

Værdien skønnes ud fra en vandbalance over grundvand:

Ind i grundvandsmagasinet = infiltration + tab fra vandledninger

Ud af grundvandsmagasinet = indsyvning til kloak + sekundavand + andre oppumpninger + grundvand til Frederiksberg

d.v.s at infiltration = ud af grundvandsmagasinet – tab fra vandledninger

$$\begin{aligned} \text{Infiltration} &= 4,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} + 1,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} + 3,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} + 1,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} - 1,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år} \\ &= \underline{9,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}} \end{aligned}$$

2.5.9 Usikkerhedsvurderinger

Tabel 10

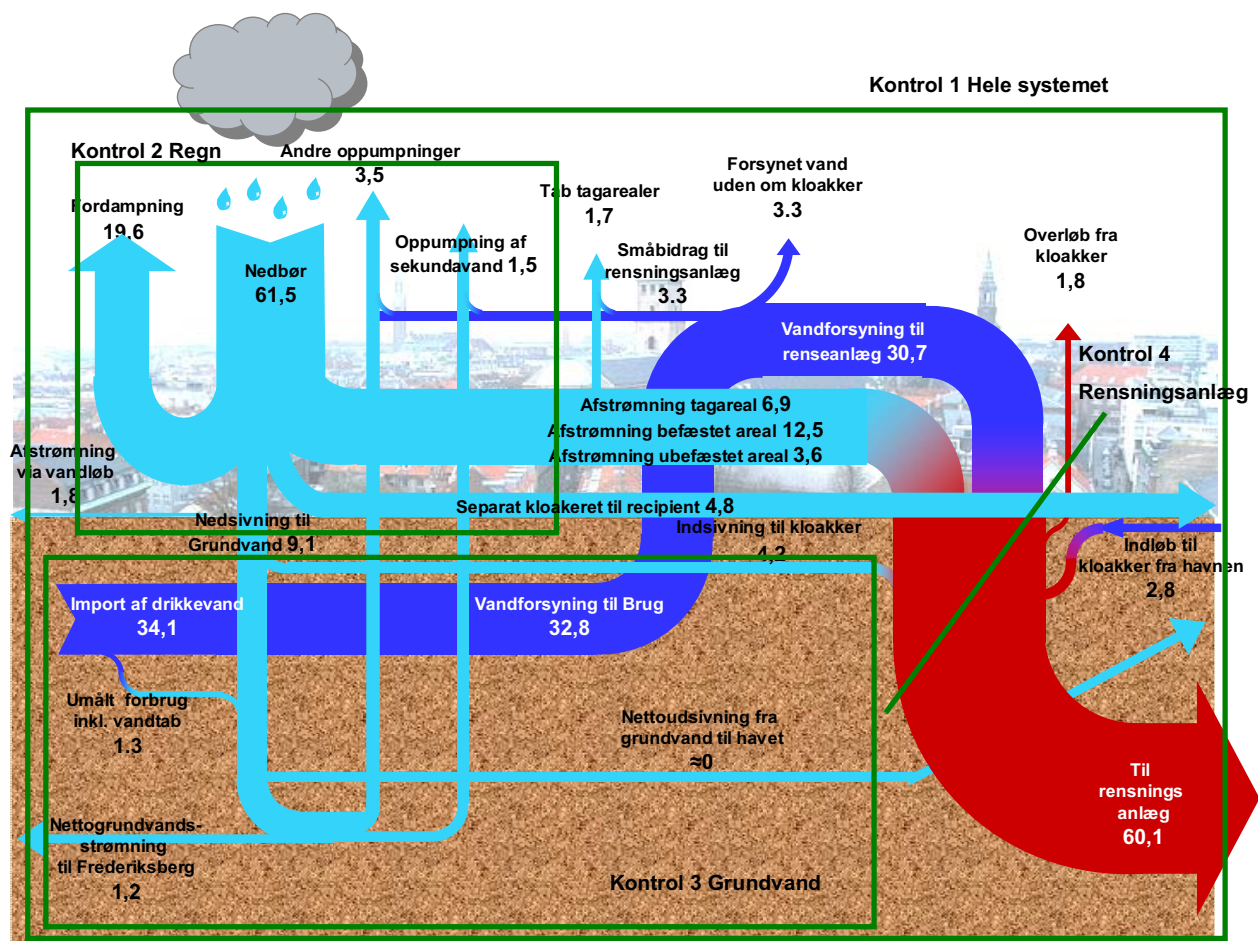
Usikkerhedsvurderinger:

Fordampning ubefæstet areal	+/- 15 -20%
Fordampning befæstet areal	+/- 15 -20%
Grundvandsstrømning	+/- 30 %
Afstrømning via vandløb	+/- 15 -20%
Oppumpning af sekundavand	+/-10 %
Andre oppumpninger	+/-10 %
Nettoindsivning til havet fra grundvand	??
Nedsivning til grundvand	+/- 50 %

2.6 Afstemning af vandbalance

For at kontrollere om der er balance i de forskellige strømme er der lavet kontrol på 4 snit i vandbalancen:

Figur 1 De grønne kasser repræsenterer, de snit hvor der er lavet kontrol af om indgående og udgående strømme stemmer overens.



2.6.1 Ind og ud af hele systemet

Ind		Ud	
Regn	61,5	Rensningsanlæg	60,1
Overløb fra havn	2,8	Overløb til recipient	1,8
Drikkevand	34,1	Fordampning	19,6
Småbidrag	0,9	Separat til recipient	4,8
		Fors. Uden om kloak	3,3
		Tab på tagarealer	1,7
		Afstrømning vandløb	1,8
		Andre oppumpninger	3,5
		Til Frederiksberg	1,2
Sum	99,3	Sum	99,3

2.6.2 Regn			
Ind		Ud	
Regn	61,5	Fordampning	19,6
		Tab på tagarealer	1,7
		Afstrømning tag	6,9
		Afstr. Befæstet areal	12,5
		Afstr. Ubefæstetareal	3,6
		Infiltration	9,1
		Afstrømning vandløb	1,8
		Separat til recipient	4,8
Sum	61,5	Sum	61,5
2.6.3 Grundvand			
Ind		Ud	
Infiltration	9,1	Indsivning	4,2
Vandtab	1,3	Sekundavand	1,5
		Andre oppumpninger	4,5
		Til Frederiksberg	1,2
Sum	10,4	Sum	61,5
2.6.4 Rensningsanlæg			
Ind		Ud	
Afstr. tagarealer	6,9	Overløb til recipeint	1,8
Afstr. Befæstet areal	12,5	Rensningsanlæg	60,7
Afstr. Ubefæstetareal	3,6		
Sep. til r.a.	0,3		
Spildevand	30,7		
Indsivning	4,2		
Småbidrag	0,9		
Overløb fra havnen	2,8		
Sum	61,9	Sum	61,9

3 Vandkvalitet

Tabel 11 Oversigt over vandkvalitet i København

Stof	Total mængde	Vandmængde	Koncentration mg/l
Rensningsanlæg (Lynettefællesskabet I/S 2003)			
Indgående strøm			
N	3540 t/år	85,9 mio. m ³	39,5
P	718 t/år	85,9 mio. m ³	8,0
Udgående strøm			
N	418 t/år	85,9 mio. m ³	4,7
P	68 t/år	85,9 mio. m ³	0,8
Nedbør (Ellermann et al. 2004)			
N			1
P			11*10 ⁻³
Drikkevand (Københavns Kommune. 2001)			
N1			0,9
P			0,02
Husholdningsspildevand (http://www.danva.dk/sw328_fr_content.asp?StoreId=72533)			
N	4,4 kg person/år	128 l/dag	96
P	1,0 kg/person/år	128 l/dag	21
Overløbsvand (Københavns Energi. 2004)			
Overløbsbygværker			
N UØ 10.1	1571 kg/år	249000 m ³ /år	6,3
P UØ 10.1	424 kg/år	249000 m ³ /år	1,7
Separat regnvand			
N UØ 20.1	90 kg/år	44900 m ³ /år	2,0
P UØ 20	22 kg/år	44900 m ³ /år	0,5
Novozymes (Novozymes, 2004)			
N:	18 t/å	100000 m ³ /år	180
P	3,6 t/år	100000 m ³ /år	36

3.1 Søer

Tabel 12 Vandkvalitet søer fra (Københavns Kommune 2003)

Københavnske søers indhold af fosfor og kvælstof samt deres sigtedybde

A 2.11

Content of Phosphorus and Nitrogen in the lakes of Copenhagen and their secchi-dishdepth

	Total P (fosfor) ¹		Total N (kvælstof) ¹		Sommersigtedybde		
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	Målsætning
			mg/l		m		
Emdrup Sø	0,16	...	1,33	...	0,52	...	>1,5
Damhus søen	0,05	0,05	1,15	1,27	1,70	1,80	>1,5
Stadsgraven .....	...	...	...	...	...	...	>1,5
Sortedams Sø	0,09	0,12	1,34	1,43	0,50	0,70	>1,5
Peblinge Sø	0,09	0,13	1,29	1,40	0,50	0,60	>1,5
Skt. Jørgens Sø	0,06	0,06	1,13	1,15	...	3,30	>1,5
Utterslev Mose	0,26	0,32	1,40	1,75	0,50	0,50	>1,5
Harrestrup Å	0,13	0,17	2,30	2,39	...	...	...

¹ Årsgennemsnit.

Kilde: Københavns Energi.

Tabel 13 Vandkvalitet I rensningsanlæg (Lynettefællesskabet I/S. 2003)

Vandbehandling

Indgående strømme		RL	RD	RL + RD	ORDFORKLARING
Spildevand					
Vandmængde	mio. m ³ /år	59,8	26,1	85,9	
Organisk stof i spildevand					
COD	t/år	33.210	11.830	45.040	
BOD	t/år	20.460	5.940	26.400	COD Kemisk iltforbrug (kaliumdichromat)
Næringsstoffer i spildevand					BOD Biologisk iltforbrug (over 5 døgn)
Fosfor	t/år	510	200	710	
Kvælstof	t/år	2.550	990	3.540	
Andet					
Flydende affald	t/år	8.400	-	8.400	
Propylenglycol	t COD/år	-	78	78	
Udgående strømme					
Organisk stof i rensat spildevand					
COD	t/år	1.440	720	2.160	
BOD	t/år	80	110	190	
Næringsstoffer i rensat spildevand					
Fosfor	t/år	40	20	60	
Kvælstof	t/år	260	150	410	
Afløst primært rensat spildevand					
Vandmængde *)	mio. m ³ /år	0,8	1,4	2,2	
Organisk stof i afløst spildevand					
COD	t/år	350	330	680	
BOD	t/år	170	150	320	
Næringsstoffer i afløst spildevand					
Fosfor	t/år	6	6	12	
Kvælstof	t/år	20	25	45	

*) Nedbørnormaliserede værdier

4 Referencer

- Akademiet for de Tekniske Videnskaber, ATV (2003) Effekter af klimaændringer-tilpasninger i Danmark
- Albrechtsen, H.-J., Henze, M., Mikkelsen, P.S and Adeler, O.F., 1998, Boligernes vandforbrug: Den udnyttelige regnvandsressource.
- Allerup, P., H. Madsen, and F. Vejen, 1998, Standard values (1961-1990) of rainfall corrections. 98-10, DMI.
- Bahl Andersen, E.; Linde-Jensen, J.J; Jensen H.T; Winther, L. og Mikkelsen, I., 1984, afløbsteknik 3. reviderede udgave, Polyteknisk forlag
- Bonde, O., 1995, Domina A7S. Dannebrogsgade 18. Genanvendelse af regnvand til toiletskyl. Evalueringsrapport efter to års drift.
- Ellermann, T., O. Hertel, C. A. Skjøth, K. Kemp, C. Monies, and A. f. A. Miljø, 2004. Atmosfærisk deposition, driftsrapport for luftforurening i 2003. Faglig rapport fra DMU, nr. 520, DMU.
- Københavns Energi, 2004. Spildevandsplan 2004.
- Københavns Energi, 2005, Vandforsynings notat, redegørelse for vandforsyningssituationen i hovedstadsområdet
- Københavns Kommune, 2001. Vandforsyningsplan 2001.
- Københavns Kommune, 2003. Årbog 2003 København: Klima, miljø og energi.
- Københavns Kommune, 2004, Vandmiljøovervågning, NOVA 2003 Maj 2004 Punktkilder 2003

Københavns Kommune, 2005, Københavns Kommunes grundvandsplan -Høringsudkast
Revision 2005
Københavns Statistiske Kontor. ,2005, Orientering fra Københavns Kommune Statistisk
Kontor Netpublikation, 31. maj 2005
Københavnernes grønne regnskab 2003: <http://www.miljoe.kk.dk/miljoetjek> sidst besøgt 22-
06-05
Lynettefællesskabet I/S, 2003. Grønt regnskab 2003.
Markussen, L.M, 2002, Grundvandsforhold o København, Igeniørgeologiske forhold i
København vol 19 pp. 165-182
Novozymes, 2004 Site data The Novozymes Group 2004

Integreret håndtering af vand og spildevand i København:

**Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug,
samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og
spildevand**

Januar 2006

Bilag 2 Beskrivelse af storforbrugere

Projekt A.1.

*Mikkel Boye Hauger og Philip John Binning
Institut for Miljø & Ressourcer, DTU, 2006*



Bilag 2 storforbrugere

Kort beskrivelse af 5 kategorier af storforbrugere

Industri.

Forbrugere: Carlsberg, Dumex, Kødbyen, Statens Serum Institut og Lundbeck.

Samlet forsyningsvand forbrug (2002): 1.360.000 m³

Andet kendt forbrug (2002): 13.300 m³

For disse forbrugere gælder, at en del af deres vandforbrug indgår direkte i produkter eller i forarbejdningen af produkterne. Der stilles derfor store krav både til kvaliteten og leveringssikkerheden, da forringelser vil have store konsekvenser for driften. En stor del af vandforbruget går dog til rengøring af maskiner, køling og almindeligt kontorforbrug, hvor kravene ikke nødvendigvis er nær så store.



De fleste industri forbrugere har allerede kigget på deres vandforbrug og reduceret dette over de seneste år, dels fordi vandprisen har nået et niveau, hvor det kan betale sig at investere i vandbesparelser, dels bruger nogen virksomheder vandbesparelser som en del af markedsføringen af deres miljøprofil. En flytning af Carlsbergs produktion, (hvilket er annonceret vil ske i løbet af 2006/07) i København vil mere end halvere Carlsbergs årlige vandforbrug der er på mere end 900.000 m³. Dette vil svare til en besparelse på 1,5 % af Københavns samlede forbrug.

Kraftværker

Forbrugere: Amagerværket, H.C Ørstedsværket og Svanemølleværket

Samlet forsyningsvand forbrug (2002): 626.000 m³

Andet kendt forbrug (2002): 590.000 m³

Den største del af kraftværkernes vandforbrug bruges til spædning af fjernvarmenettene. Herudover er der en del andre industrielle anvendelser bl.a. afsvovlningsanlæg, samt almindeligt kontorforbrug. Der er igangsat en omstilling så vandværksvand erstattes af afdrænet vand fra Øresundsforbindelsen til spædning af fjernvarmenettet. Dette har betydet at forbruget af grundvand faldt fra 276.000 m³ i 2003 til 101.000 m³ i 2004 på Amagerværket alene. Hvor det er muligt (f.eks. til køleformål) anvendes afsaltet havvand. Kraftværkerne har gennem nogen år været opmærksomme på deres vandforbrug bl.a. gennem udarbejdelsen af grønne regnskaber og har igennem længere tid arbejdet med at anvende andre typer af vand end drikkevand, hvor det var muligt. Tre fjerdedele af det vandforbrug af anden kvalitet end vandværksvand bliver brugt på Kraftværkerne



Hospitaler

Forbrugere: Rigshospitalet, Bispebjerg Hospital

Samlet forsyningsvand forbrug (2002): 390.000 m³

Andet kendt forbrug (2002): 62.000 m³

En stor del af vandforbruget på hospitalerne bliver brugt af patienter og personale til bad, toilet osv. Kravene til vandkvaliteten er her de samme som i en almindelig husstand. Man skal dog være opmærksom på at patienter er mere følsomme overfor bakterier og mikroorganismer i vandet end raske personer, fordi mange patienter har et svækket immunforsvar. En del af vandforbruget bruges i forbindelse med operationer og pleje (operations personalets håndvask, vask af sår, rengøring, rengøring af instrumenter m.m.) og her er der høje krav til vandkvaliteten specielt med hensyn til mikroorganismer. Derudover er der et vandforbrug i central-køkkener og vaskerier på andre adresser



Mulighederne for at spare på vandet er de samme som i en almindelig husstand; installation af lavtskylstoiletter, vandhaner med spare anordninger, vandbesparende adfærd osv. Hospitalerne har også et vandforbrug af industriel karakter i central køkken, vaskeri osv. Bispebjerg Hospital bruger årligt omkring 60.000 m³ sekundavand fra egen boring i et stort centralt vaskeri. Så vidt vides har der ikke været specielt fokus på den almindelige brugsdel af vandforbruget på hospitalerne.

Blandet erhverv

Forbrugere: Tivoli, Amagerforbrænding, Havnevæset, Statens serum institut, DSB, hotel Scandinavia

Samlet forsyningsvand forbrug (2002): 509.000 m³

Andet kendt forbrug (2002): 250.000 m³

Forbruget her er af meget varierende karakter, lige fra røggasrensning på Amagerforbrænding, til madlavning i Tivolis restauranter og badende gæster på Hotel Scandinavia, og derfor er kravene til kvaliteten også meget forskellige. Også i denne kategori af forbrugere har flere forbrugere været i gang med at reducere vandforbruget hvor det var muligt og potentialet for yderligere besparelser er begrænset. Amagerforbrænding erstatter i stigende grad vandværksvand med afsaltet havvand, på denne måde spares 250.000 m³ drikkevand om året. DSB har helt tilbage i 90'erne taget et togvaskningsanlæg i brug, hvor vandet genanvendes.



Beboelse

Forbrugere: Mjølnerparken, Aldersrogade 46, Hjulmagerstien, Øresundskollegiet, Gavlhusvej

Samlet forsyningsvand forbrug (2002): 443.000 m³

Andet kendt forbrug (2002): 0 m³

Forbruget i de store beboelsesejendomme og kollegier er af samme type som i en almindelig husstand. Nogle ejendomme kan spare på vandet, på Øresundskollegiet f. eks. er vandforbruget 140 l/p/d hvilket er lidt over middel i København som er 127 l/p/d. En reduktion til københavnsk gennemsnit svarer til en årlig besparelse på 7100 m³. I Mjølnerparken derimod er vandforbruget så lavt som 118 l/p/d. Overordnet set er det nok begrænset hvor meget der kan spares på vandet i de store beboerforeninger. De store beboelses ejendomme er oplagte muligheder for opsamling af regnvand til toiletskyl fordi der er ret store bygninger med et stort forbrug af vand, hvorfor det må forventes at rentabiliteten vil være god



Brug af sekundavand

Som et led af sit eksamensprojekt har Bibbi Neymann lavet denne oversigt over brug af sekundavand i hovedstadsområdet (oversigten dækker også de andre kommuner i hovedstaden). Generelt mangler der et samlet overblik over forbrug af vand af andre kvaliteter end drikkevand. Nedenstående liste kan derfor ikke betragtes som værende fyldestgørende.

Forbrugere	Sekunda vandforbrug (m ³ /år)	Type af vand	Formål	Referencer
Companies				
Amagerværket	Dimensioneret til > 1,000,000	Brakvand fra den permanente dræning af Øresundsforbindelsen	Køling, rensning af røggasser	(1), (2)
Vestforbrænding	ca. 680,000 (data from 1996, reported as the sum of second-rate water used by both Vestforbrænding and Institutionsvask)	Groundwater polluted by organic contamination	(no data)	(2), (3), (4)
Avedøreværket	300,000 to 400,000	Sea water	Cleaning of air emissions	(2)
Amagerforbrændingen	(no data)	(no data)	(no data)	(2)
Institutionsvask	ca. 680,000 (data from 1996, reported as the sum of second-rate water used by both Vestforbrænding and Institutionsvask)	Groundwater polluted by organic contamination	(no data)	(3), (4)
Bispebjerg Hospital	60,000	Groundwater polluted by organic contamination	Washing	(1)
ISS Frederiksberg	46,000	Groundwater polluted	Process water	(3)

	(data from 1995)	by organic contamination		
H. Lundbeck	20,000 (data from 1995)	Groundwater polluted by organic contamination	Cooling	(3)
Rigshospitalet	"A smaller amount" (exact number not given)	Groundwater polluted by organic contamination	Rinsing of filters	(1)
Western Amager	"A smaller amount" (exact number not given)	(no data, probably water from drainage)	Fighting dust problems in relation to works with soil	(1)
Nature Restoration				
Lake in Valbyparken	100,000	Water from the permanent drainage of Godsbaneforbindelsen	Nature restoration	(1)

Integreret håndtering af vand og spildevand i København:

**Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug,
samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og
spildevand**

Januar 2006

Bilag 3 Oversigt over teknologier og opbevaringsmuligheder

Projekt A.1.

*Mikkel Boye Hauger og Philip John Binning
Institut for Miljø & Ressourcer, DTU, 2006*



Teknologier til rensning af drikkevand og spildevand

Teknologier til rensning af drikkevand

Fjernelse af partikler

- Bundfældning
- Flotation
- Filtrering
 - Enkeltlagsfiltre
 - Flerlagsfiltre
 - Sandfilter

Membraner

- Mikrofiltrering
- Ultrafiltrering
- Nanofiltrering

Fjernelse af stoffer

- Biologiske processer
 - Biofilm og aktiv slam processer
 - Fjernelse af
 - Kvælstof
 - Fosfor
 - Organisk stof
 - Miljøfremmede stoffer
 - Stabilisering af vand

Membraner

- Nanofiltrering
- Omvendt osmose
- Reaktive membraner (biologiske – kemiske)
 - Iltning af organisk stof
 - Nitrifikation
 - Denitrifikation
 - Fjernelse af fosfor
 - Fjernelse af miljøfremmede stoffer

Elektrokemisk reaktor

- Fjernelse af organiske stoffer

Sorptions processer

- Aktivt kul
- Sten
- Jord
 - Fjernelse af
 - Metaller
 - Miljøfremmede stoffer

Fældning af stof
Stripning af gasser
Avanceret oxidations processer
Ozon
Brintoverilte
UV

Fjernelse af mikroorganismer

UV
Brintoverilte
Ozon
Kloring
Organiske syrer

Tilsætninger

Iltning
Ph justering
Syre
Base

Teknologier til rensning af spildevand

Fjernelse af partikler

Gravitationsseparation

- Bundfældning
 - Septiktank
 - Sandfang
 - Horisontalt sandfang
 - Vertikalt Sandfang
 - Luftet sandfang
- Primær/sekundær bundfældningstank

Flotation

- Flotationsanlæg
- Fedtfang
- Benzin- og olieudskillere
- Slamkoncentrering
- Kemisk fældning
- Centrifugering
- Fluidisering

Filtrering

- Riste
 - Grovriste
 - Finriste
- Sier
 - Makrosier
 - Mikrosier
- Filtre
 - Enkeltlagsfiltre
 - Flerlagsfiltre
- Afvanding
 - Kammerfilter
 - Sibåndspresse

Membraner

- Mikrofiltrering
- Ultrafiltrering
- Nanofiltrering

Fjernelse af stoffer

Biologiske processer inddelt efter anlægstype

- Biologiske filtre
 - Biologisk filter uden planter
 - Biologisk sandfilter
 - Biologisk filter med planter
 - Rodzone bassin
 - Horisontal

- Vertikal
 - Fordampningsanlæg
 - Pileanlæg
 - Plantebede
- Aqua-kultur
 - Plantebaseret
 - Algebassin
 - Plantebassin
 - Dyrebaseret
 - Zooplanktonbassin
 - Fiskebassin
 - Krebsbassin (\pm fisk)
 - Plante og dyrebaseret
 - Levende maskine
 - Dike pond
 - Bioværk
- Aktiv-slam anlæg < 2.000 PE
 - Bassiner / Laguner uden beplantning
 - Aerobe bassin anlæg
 - Aerob / anaerob bassin anlæg
 - Bassiner / Laguner med beplantning (kunstige vådområder)
 - Aerobe bassin anlæg
 - Aerob / anaerob bassin anlæg
 - Algedam
 - SBR (sequencing batch reaktor)
 - Ringkanal
 - Iltning af organisk stof
 - Nitrifikation
 - Denitrifikation
 - Bioforgasning
- Biofilm reaktor < 2.000 PE
 - Rislefilter
 - Dykket biofilter
 - Roterende filter
 - Iltning af organisk stof
 - Nitrifikation
 - Denitrifikation
 - Bioforgasning
- Konventionelt renseanlæg; Aktiv-slam eller biofilm > 2.000 PE
 - Iltning af organisk stof
 - Nitrifikation
 - Denitrifikation
 - Biologisk fosfor fjernelse
 - Fjernelse af miljøfremmede stoffer
 - Bioforgasning
- Biogas reaktor
 - Mesofil
 - Termofil
- Komposterings reaktor

- Tør kompostering
 - Husstands-komposteringsbeholdere
 - Ormekompostering
 - Central kompostering
- Våd kompostering

Membraner

- Nanofiltrering
- Omvendt osmose
- Reaktive membraner (biologiske – kemiske)
 - Iltning af organisk stof
 - Nitrifikation
 - Denitrifikation
 - Fjernelse af fosfor
 - Fjernelse af miljøfremmede stoffer
 - Bioforgasning

Elektrokemisk reaktor

- Fjernelse af organiske stoffer

Sorptions processer

- Aktivt kul
- Sten
- Jord
 - Fjernelse af
 - Metaller
 - Miljøfremmede stoffer

Fældning af stof

- Fosfor
 - Kemisk fosforfjernelse

Stripning af gasser

- Kuldioxid
- Sulfid
- Metan

Avanceret oxidations processer

- UV
- Brintoverilte
- Ozon

Fjernelse af mikroorganismer

- UV

- Brintoverilte
- Ozon
- Kloring
- Organiske syrer
- Hygiejnisering
 - Stabilisering
 - Anaerob
 - Aerob
 - Kompostering
 - Kemisk / Kalk
 - Kontrolleret kompostering
 - Kontrolleret hygiejnisering
 - Varmebehandling
 - Kemisk behandling
 - Udrådning
 - Lagring

Tilsætninger

- Iltning
- Ph justering
 - Syre
 - Base

Neddeling

- Kværn
- Hydrolyse
 - Termisk
 - Kemisk
 - Biologisk

Afledning til recipient

- Nedsivning/ Infiltrations anlæg
 - Nedsivning af rensset spildevand
 - Nedsivning af gråt spildevand
 - Nedsivning af sort spildevand
 - Sivedræn
 - Sivebrønd
 - Faskine

Vanding

- Renset spildevand
- Gråt spildevand
- Urin
 - Overrislingsanlæg
 - Udsprøjtning

Volumenoverslag for forskellige opbevaringsmuligheder

1 døgn vandforbrug =

$$34,1 \text{ mio. m}^3/365 = 93400 \text{ m}^3$$

Tabel 1 Beregninger af volumen af vandforsyningsnettet. Oplysninger om vandforsyning er hentet fra KE (2001) og KE (2005) og personlig kommunikation med medarbejdere i KE. 1) volumen beregnet ud fra jævn fordeling af dimensioner.

Vandforsyning	Diameter (mm)	Længde (km)	Volumen (m ³)	Volumen (døgn forbrug)
Ledningsnet				
Transport ledninger		136	137729	1,47
Hovedledninger		155	78520	0,84
Forsyningsledninger ¹⁾	50-80	125	425	
	90-125	365	3284	
	140-160	185	3279	
	175-225	60	1905	
	250-290	30	1745	
Forsyningsledninger i alt		765	10638	0,11
Ledningsnet i alt			226887	2,43
Beholdere				
Beholdere ved vandværker			49731	0,53
Højdebeholdere			322000	3,45
Samlet beholdervolumen			371731	3,98

Tabel 2 Beregninger af volumen af afløbssystem. Oplysninger om afløbssystemet er hentet fra KE (2004) og personlig kommunikation med medarbejdere i KE.

Afløbssystem	Volumen (m ³)	Volumen (døgn forbrug)
Ledningsnet		
Opland Damhusåen	80000	0,86
Opland Lynetten	153000	1,64
Ledningsnet i alt	233000	2,49
Basiner		
Basiner	193380	2,07

Tabel 3 Beregning af søvolumner. 1) miljøkontrollens hjemmeside 2) Rambøll 2004 3) skønnet værdi

Søer	Areal (ha)	Middeldybde (m)	Volumen (m ³)	Volumen (døgns forbrug)
De indre søer ¹⁾			1217600	13,03
Kildevældssøen ¹⁾			30000	0,32
Utterslev mose ¹⁾			580000	6,21
Kirkemosen ¹⁾			40000	0,43
Damhussøen ¹⁾			800000	8,56
Empdrup Sø ²⁾	5,6	1,5	84000	0,90
Kastellet ²⁾	10	1,5 ³⁾	150000	1,61
Stadsgraven ²⁾	42	2,0 ³⁾	840000	9,0
Ryvangel naturpark ²⁾	1,7	2,5 ³⁾	42500	0,45
Fælledparken ²⁾	1,9	1,5 ³⁾	28500	0,31
Tivoli ²⁾	0,6	2,0 ³⁾	12000	0,13
Ørstedsparken ²⁾	1,8	4,0	72000	0,77
Østre Anlæg ²⁾	2,5	4,0	100000	1,07
Søer i alt			3996600	42,78

Tabel 4 Overslag over grundvandsmagasinet under København

Københavns areal	Km ²	89,6
Gennemsnitlig vandindhold undr mættede forhold	%	0,25
Middel tykkelse af magasin	m	100
grundvandsmagasin	Mio m ³	2240
	Års vandforbrug	66

Referencer

Københavns Energi, 2005, Vandforsynings notat, redegørelse for vandforsyningssituationen i hovedstadsområdet

Københavns Energi, 2004. Spildevandsplan 2004.

Københavns Energi, 2001. Vandforsyningsplan 2001.

Rambøll, 2004 Notat om Udveksling af overfladevand

Integreret håndtering af vand og spildevand i København:

**Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt
eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand**

Januar 2006

Bilag 4 Inspirationskatalog over teknologiske tiltag

Projekt A.1.

*Mikkel Boye Hauger og Philip John Binning
Institut for Miljø & Ressourcer, DTU, 2006*



Oversigt over Scenarier/Teknologier

I forbindelse med projekter har en række projekter i ind og udland været studeret for at indhente inspiration til alternative måder at håndterer vand på. I dette notat er de 20 mest interessante kort beskrevet.

Tabel 1 Liste over inspirationsprojekter

Projekt	Tema
1 Sydney, Australien: Meeting the future	Sikring af drikkevand i Sydney
2 Rousehill, Sydney: Genbrug af spildevand	22.000 husstande bruger genbrugt vand i toiletter til bilvask, vanding m.m.
3 PUB Singapore: Water for all	Omfattende langsigtet plan der skal gøre Singapore selvforsynende med drikkevand
4 Singapore, Newwater	Genbrug af spildevand
5 Singapore, Marina Barrage	Regnvandsreservoir
6 Augustenborg, Malmø, Sverige: Bæredygtig ”water management”	Bl.a. synliggørelse af vand, grønne tage, vand som løftestang i kvartersløft.
7 Frederiksberg, Det økologiske inspirations hus	Indeklima styring vha. regnvand, grønt rensningsanlæg og urinseparation m.m.
8 Hammarbysjöstad, Stockholm, Sverige:	Byøkologisk bydel, lokal håndtering af alt spildevand
9 Debishauss, Potsdamer Platz, Berlin, Tyskland: Genanvendelse af regnvand i kontorhus	Stort kontorhus der opsamler regnvand til toiletter og nærliggende grønne område
10 Tingbjerg, København: Nedsivning af regnvand til brug i rekreativt område	Udnyttelse af regn vand på omkring liggende friarealer
11 Amager, Amagerværket: Smart vandforbrug	Erstatning af vandværksvand hvor det er muligt
12 Hurup, Thy, Nordisk folkecenter for vedvarende energi	4 forskellige rensningsanlæg der bruger planter til rensning renseanlæg
13 Ecoporten, Norrköping, Sverige	Urinsorterende toiletter, lokal håndtering af spildevand
14 Figtree Place, Australien	Nedsivning af regnvand til grundvand
15 Nijmegen, Holland: Contextual water management,	Omstrukturering af vandsystemet bl.a. tilskudsordninger til regnvandstønder og udbredt borgerinddragelse
16 Henderson marinebase, Freemantle, Australia:	Afsaltningsanlæg drevet af bølgeenergi
17 Perth Australia	Storskala afsaltningsanlæg
18 Holland: Det grønne kontorhus	Opsamling af regnvand i ”grønne bede” til brug for køling og klimastyring af kontorhus
19 Parcelhus, Danmark	Eksempel på opsamling af regnvand i enfamiliehus til vask og toilet
20 Kalmars tekniske højskole, Sverige	Urinsorterende toiletter, udnyttelse af næringsstoffer
21 Skogaberg, Göteborg, Sverige	Genanvendelse af næringsstoffer fra sort spildevand

Tabel 2 viser hvordan projekterne er fordelt efter en række kriterier. Da mange af projekterne omfatter flere elementer, optræder det samme projekt flere steder under samme kriterium.

Tabel 2 Teknologierne/scenariernes fordeling efter forskellige kriterier.

Geografi	Hoved-staden	7, 10, 11, 19	Nord Europa	6, 8, 9, 12, 13, 15, 18, 20, 21	Verden	1, 2, 3, 4, 5, 14, 16, 17		
Skala	Hus-stand	19	Ejendom	7, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 20	Bydel	2, 5, 6, 8, 10, 14, 21	By	1, 3, 4, 15, 17
Teknologi	Grøn	1, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20	Traditionel	1, 5, 8, 15, 19	Højteknologisk	1, 2, 3, 4, 5, 8, 11, 15, 16, 17, 21		
Teknologisk stade	På tegnebrættet	3, 5, 10, 17, 18	Testfase	1, 3, 4, 5, 8, 12, 14, 15, 16, 19, 21	Velafprøvet	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 19, 20		
Formål	Regnvand	1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 18, 19, 20	Gråvand	7, 13, 20	Spildevand	1, 2, 3, 4, 7, 8, 12, 13, 15, 20, 21	Vandforsyning	1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20
Økonomi	Billig	14	Mellem	18	Dyr	1, 15, 17, 19, 21	Ukendt	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 20
Bruger inddragelse	væsentlig	3, 6, 7, 14, 15, 19	Nogen	1, 3, 5, 8, 12, 13, 19, 20, 21	Ingen	2, 4, 9, 10, 11, 16, 17, 18		

Sydney, Australien: Vandforsyningsplan for fremtiden

Fakta	
Geografi	Sydney, Australien
Scala	Planen omfatter hele Sydney
Teknologi	Vandbesparelser, afsaltning, genbrug af spildevand m.m.
Teknologisk stade	De første faser af planen er udført
Formål	Sikring af drikkevandsressourcen
Økonomi	1,4 mia. AUD\$ over 25 år
Bruger inddragelse	Ja for visse delprojekter

Baggrund

Som konsekvens af en alvorlig tørkeperiode, har vandmyndighederne sat gang i denne omfattende plan til sikring af drikkevandsressourcen i Sydney langt frem i tiden. I alt forventes investeringer på 1,4 mia. AUD\$ frem til 2025.

Tiltag

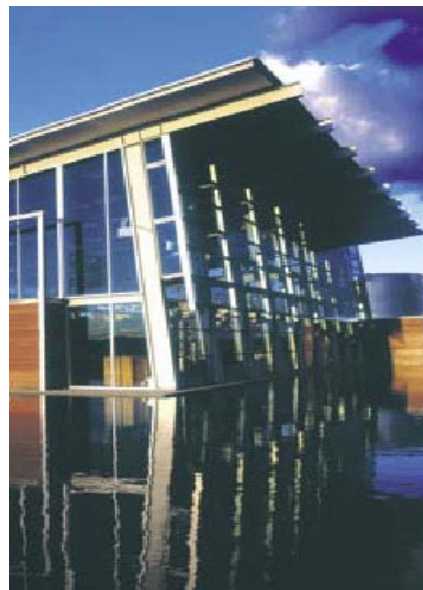
Vandspare kampagner rettet mod både industri og private. Herunder målrettet indsats mod de største forbrugere.

Krav til nye bebyggelser om reduktion af vandforbruget på mindst 40% i forhold til 2004.

Focus på vanding i landbruget

Genbrug af spildevand dels til vanding men også til brug i husholdninger. Allerede nu genbruges 14 mio. m³ om året – dette forventes øget til 83 mio. m³ om året på langt sigt. I Rouse Hill har næsten 22.000 husstande mulighed for at købe genbrugsvand til en lavere pris end den normale vandpris.

Bedre udnyttelse af reservoirer. Ved at ombygge dæmningerne kan en større del af det opdæmmede vand udnyttes.



Figur 1 Sydneys renseanlæg til genbrug af spildevand i den olympiske by.

Afsaltning af havvand. I første omgang skal afsaltet vand bruges som backup ved tørke, men på længere sigt skal afsaltet vand indgå som en del af forsyningen. Fra 2010 skal afsaltnings anlæg kunne levere 36,5 mio. m³ om året. Anlægget placeres i et industri område så biprodukter kan udnyttes og anlægget kan gøre brug af overskudsvarme fra nærliggende industri.

Perspektiv

Denne plan minder meget om opgaven i København, det er en hel bys plan for sikring af drikkevandet inden for eget område. Sydney har det på flere måder lidt nemmere end København. I udgangspunkt er vandforbruget højt ca. 360 l/p/ dag så der er meget mere at hente i besparelser. Sydney råder over en del ikke bebyggede arealer, hvor der kan opsamles vand.

Læs mere

Vandmyndighederne i Sydney, New South Wales : www.dipnr.nsw.gov.au

Planen i sin helhed

www.ke.er.dtu.dk klik på "solutions in other cities"

Rousehill, Sydney, Australien: Genbrug af vand

Delprojekt under Sydney:
Vandforsyningsplan for fremtiden

Fakta

Geografi	Rousehill, Sydney, Australien
Scala	Bydel i alt 22.000 husstande
Teknologi	2- strenget vandforsynings system
Teknologisk stade	Under udbygning
Formål	Renset spildevand tilbydes som alternativ til alm. drikkevand
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Ja. Det er brugerens valg hvilken type vand han bruger hver gang han skal bruge vand

Baggrund

Som et led i en større plan for sikring af drikkevands ressourcen i Sydney og for at reducere belastningen af den nærliggende flod, anvendes der genbrugt vand (renset spildevand) som en del af vandforbruget i husstandene i bydelen Rousehill. På nuværende tidspunkt er knap 22.000 tilknyttet dette tal øges på længere sigt til ca. 32.000. Rousehill er et område næsten udelukkende med private husstande og den smule industri der er, underkastes skrappe krav til hvilke kemikalier spildevandet må indeholde.

Tiltag

Det vand der leveres betragtes som en anden kvalitetsvand, og der gøres udtrykkeligt opmærksom på, at det ikke må drikkes. Genbrugt vand sælges til ca. 30 % af hvad almindeligt drikkevand koster. Men Systemet er i høj grad afhængig af brugerinddragelse. Det er den enkelt bruger der skal afgøre, til hvilke formål det genbrugte vand kan anvendes. Der er også informations kampagner rettet mod hvad forbrugerne kommer i vandet af kemikalier.

Husene er udstyret med dobbelt rørføring. Det genbrugte vand har derfor sit eget distributionsnet, der af sikkerhedshensyn er

farvet lilla. En almindelig husstand kan dække ca. 35% af sit forbrug med genbrugt vand.

Efter rensning på konventionelt rensningsanlæg med mekanisk og biologisk rensning og efterklaring og filtrering, mikrofiltreres og klores vandet før det distribueres til forbrugerne i det lilla forsynings system

Biologisk vand kvalitet

	Krav	Typisk resultat på anlæg
Fækale	<1/100 ml	<1/1000 ml
Coliforme		
Coliforme	<10/100 ml	<1/100 ml
Virus	<4/ 100 l	< 2/100 l
Parasiter	<2/ 100 l	< 1/100 l

Tabel 3 Mikrobiologiske krav og resultater Rousehill water recykling plant.

Der bruges i Sydney i dag omkring 14 mio. m³ genbrugt vand om året i private husholdninger, grønne anlæg og industri, dette tal øges til 24 mio. m³ i 2010 og 60 mio. m³ i 2030.

Perspektiv

Dette eksempel viser at det kan lade sig gøre at genbruge spildevand i bymæssig bebyggelse i rimelig stor skala. I Australien er der et ret stort forbrug til havevanding og derfor må potentialet for genbrug også være noget større end i København

Læs mere

Lokale vandmyndigheder

www.sydneywater.com.au klik på recykling

Singapore, Water for all

Fakta	
Geografi	Asien, Singapore
Scala	Storby/Ø ca. 5 mio. på ca. 600 km ²
Teknologi	Bl.a. recirkulering, regnvandsindsamling, afsaltning af havvand
Teknologisk stade	Udført/Under udførelse
Formål	At sikre drikkevandsressourcen
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Ja

Baggrund

Ø-staten Singapore er blandt de stater i verden hvor den tilgængelige mængde ferskvand per person er mindst. Singapore er i dag afhængige af leverancer fra Malaysia. "Water for all" er en langsigtet plan med det formål at gøre ø-staten selvforsynende med vand senest i 2061 hvor aftalen med Malaysia udløber. Singapores vandforsyning består af 4 "haner" Importeret vand (som der skal lukkes for), opsamlet regnvand, Newwater som er "brugt vand" dvs. recirkuleret spildevand og afsaltet havvand.

Tiltag

Der satses på udbygning af 3 ressourcer: Regnvand, afsaltet havvand og recirkulering. Der er 14 regnvandsreservoirer i Singapore. Planen er at i 2011 skal der opsamles vand fra 66% af arealet. I de tæt beboede områder sørger et netværk af kanaler og regnvandsbassiner for, at så meget så muligt af regnvandet ledes til et af de 14 reservoirer. Barrage Marina er et projekt hvor en fjord omdannet til et reservoir. Når Marinaen er færdig vil den indsamle regnvand fra 10.000 ha, heraf er en stor del tæt bebygget. I september 2005 åbnede et anlæg der kan levere 140.000 m³ afsaltet havvand i døgnet. Det er meningen at 15% af industriforbruget og 2,5% af husholdnings forbruget skal være "brugt vand", dvs. recirkuleret spildevand der



Figur 2 De 4 haner i Singapores vandforsyning.

sælges under navnet NEWater. Lokal deltagelse og uddannelse er et vigtigt element i water for all planen. Der udskrives vandsparekonkurrencer i skolerne. Og der laves et utal af sparekampagner, mange af dem rettet med børn eller unge. Reservoirerne renholdes blandt andet af lokale "litter patrols" som er frivillige der sejler rundt i reservoirerne og samler affald op, dette er med til at øge bevidstheden om vand som en ressource, der skal passes på. Spildevand kaldes konsekvent for "brugt vand" hvilket er med til at nedbryde den mentale barriere mange har overfor recirkuleret spildevand, og flytte fokus fra spildevand som affald til spildevand som ressource

Perspektiv

Med ca. 5 mil. mennesker samlet på ca. 650km² minder befolkningstætheden om den i København. Singapore er det bedste eksempel på en storby med en langsigtet selvforsyningsstrategi.

Læs mere

Vandmyndighederne, PUB's hjemmeside www.pub.gov.sg

Singapore, NEWater genbrug af spildevand

Delprojekt under: Singapore, Water for all

Fakta

Geografi	Asien, Singapore
Scala	15% af Industriforbruget og 2,5% af drikkevandet i Singapore inden 2015
Teknologi	Konventionelt renseanlæg, mikrofiltrering og omvendt osmose
Teknologisk stade	Start feb. 2003, under gradvis udbygning
Formål	At indføre genbrugt spildevand som en vandressource
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Nej

Baggrund

Den ene af ”de tre vandhaner” som Singapore baserer sin vandforsyning på er Newater produceret af ”brugt vand” eller recirkuleret spildevand.

Tiltag

NEWater er handelsnavnet på recirkuleret spildevand. I dag producerer tre ”NEWater fabrikker”, hvad der svarer til 1% af vandforbruget i østaten. I slutningen af 2006 åbner en fjerde fabrik, der mere end fordobler den nuværende kapacitet. I 2011 skal 15 % af industriens vandforbrug og 2,5 % af husholdnings-forbruget dækkes af NEWater. NEWater bruges på flere måder: noget sendes direkte til industrien, den største del tilføjes til regnvandsreservoirerne og en mindre del distribueres på flasker. Som råvandsressource bruges rensset spildevand. For at imødekomme den mentale barriere mange har overfor at drikke rensset spildevand, betegnes udløbet fra rensningsanlægget konsekvent som ”brugt vand. Dette er med til at flytte fokus fra spildevand som en affaldsfraktion til en vandressource. På NEWater fabrikkerne udsættes vandet for en tre-trins rensnings proces bestående af mikrofiltrering, omvendt osmose og UV-bestråling. Den del, der bliver



Figur 3 NEWater besøgscenter I Singapore

ledt til reservoirerne bliver så rensset en gang mere når det blandet med regnvand bliver pumpet op på vandværket.

NEWater bruges dels til at erstatte en del af det vand der importeres fra Malaysia, men ligeså væsentlig er den uddannende betydning som NEWater har. På NEWater besøgscenter kan turister og ikke mindst skolebørn lære om vand i almindelighed og Singapores vandkredsløb i særdeleshed. Både i forbindelse med NEWater, men også i de øvrige kampagner som PUB arrangerer fokuseres meget på at bruge børn og unge som drivkraft for vandbesparelser og beskyttelse af vandressourcer

Perspektiv

NEWater i Singapore er et af de få eksempler på verdensplan hvor recirkuleret spildevand indgår som en del af drikkevandsressourcen. NEWater er også et godt eksempel på at udnytte en alternativ teknologiform proaktivt til at øge den lokale bevidsthed om vandets kredsløb.

Læs mere

Vandmyndighederne, PUB's hjemmeside

www.pub.gov.sg

NEWater besøgscenter:

www.pub.gov.sg/newwater

Singapore, Marina Barrage

Delprojekt under: Singapore, Water for all

Fakta

Geografi	Asien, Singapore
Scala	Stor bydel
Teknologi	Omdannelse af fjord til ferskvands reservoir med Dæmning opsamling af regnvand fra 10.000 ha
Teknologisk stade	Under udbygning
Formål	Udnytte nedbør i byområde
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger	Forsøg på styring af kvalitet via inddragelse
inddragelse	kampagner

Baggrund

Marina Barrage er et af de største enkeltprojekter i "water for all" planen, der skal imødekomme den stigende efterspørgsel på vand fra en stigende befolkning, og inden 2061 skal gøre Singapore uafhængige af importeret vand fra Malaysia. Ved at bygge en enorm sluse hen over Marina Channel omdannes saltvandsfjorden til ferskvandsreservoir.

Tiltag

Når projektet er færdigt i 2007 vil Marinaen opsamle regnvand fra et område på 10.000 ha, svarende til knap 1/7 af ø-statens areal. En stor del af arealet er tætbebygget byområde, hvor et netværk af mindre regnvandsopsamlingsbassiner og kanaler leder vandet ned til reservoiret. At udnytte regnvandet fra de tætbebyggede områder bliver gjort muligt, ved at behandle vandet i omvendt osmose anlæg. Det er billigere at udnytte regnvandet som ressource end at bruge havvand, fordi der ikke skal fjernes en masse salt fra vandet. Reservoiret bliver skabt ved at bygge en mur af bevægelige stålporte hen over udmundingen af en fjord, derved omdannes Marina Channel til et stort ferskvands reservoir. Udover sin funktion som regnvandsreservoir har konstruktionen af sluserne også to andre formål.



Figur 4 Marina Barrage, rekreativt område og reservoir midt i storbyen.

Kanalen har tidligere været plaget af oversvømmelser, dette vil sluserne sætte en stopper for, hvilket vil betyde at landområderne langs kysten kan udnyttes bedre. Dette er af stor betydning i den tætbefolkede østat, hvor der er stor mangel på byggegrunde. Vandområdet indenfor sluserne skal gøres til et center, hvor alle former for rekreative aktiviteter knyttet til vand skal praktiseres.

Perspektiv

Marina barrage er et af de største regnvandsopsamlings projekter i et byområde noget sted i verden, og en manifestation af at med den rette sammensætning af rensningsteknologier er der ikke nogen fraktion af vand i byen der er udelukket som drikkevandsressource. Marina Barage er også et godt eksempel på, at sikring af vandressourcen kombineres med andre formål, her oversvømmelses sikring og rekreative formål.

Læs mere

Vandmyndighederne, PUB's hjemmeside
<http://www.pub.gov.sg/Marina>

Augustenborg Malmö, Sverige : Bæredygtig "water management"

Fakta	
Geografi	Sverige
Scala	Bydel 32 ha, ca. 3000 personer
Teknologi	Infiltration af regnvand, forsinkelse af afstrømning, vand som element i landskabsdesign, afstrømning i åbne kanaler
Teknologisk stade	Udbygget
Formål	At bruge vand som løftestang i kvartersløft
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Kun indirekte

Baggrund

Bæredygtig vandhåndtering har været praktiseret siden 1980'erne i Malmö. Hovedtemaet er at betragte regnvands-afstrømning som en positiv ressource og synliggørelse af regnvands-afstrømningen, på en måde så det bidrager aktivt til indretningen af byens rum. I bydelen Augustenborg har man løst problemet med et overbelastet kloak-system ved at tilbageholde og forsinke regnvands afstrømningen. Ved at afskære regnvandet fra det traditionelle kloak system, har man skabt en synlig "afvandings korridor". Samtidig har synliggørelsen af vand været med til at gøre et lidt trist og u-attraktivt kvarter, til et mere levende og attraktivt kvarter.

Tiltag

En lang række tiltag sørger for at reducere, forsinke og tilbageholde regnvands-afstrømningen. Alle tiltag er gjort synlige og bidrager positivt til den lokale landskabs-arkitektur. En stor del af erhvervs-bebyggelsen i området har fået anlagt grønne tage, hvilket reducerer afstrømningen fra tagarealet med op til 90 % og medvirker til et bedre klima lokalt. I det tættest bebyggede område har man lavet en åben kanal, hvor afstømningen forsinkes ved, med indstøbte



Figur 5 Amfiteater i skolegården, infiltration og regnvandsafledning som landskabs arkitektonisk element

forhindringer, at øge ruheden i kanalen, og ved at lave små forsinkelsbassiner på gård og ejendomsniveau. Undervejs på vandets vej ud af området er der flere større eller mindre vandområder, der tilbageholder og reducerer vandets afstrømning fra området. Vand-områderne er integreret i den øvrige byplanlægning, et sted er det kombineret med en legeplads, et andet sted har man genskabt noget der kunne minde om landsbyens gadekær. På skolen, som er den del af kvarteret der har den højeste befæstelsesgrad har man kombinerer opførelsen af et amfiteater i skolegården med et regnvandsbassin og en infiltrationsfaskine (se billede).

Perspektiv

Augustenborg er et godt eksempel på synliggørelse af vand, en anderledes måde at lave regnvandsafstrømning på, og på den effekt synligt vand kan have lokalt, hvis det bruges som led i byplanlægningen

Læs mere

Peter Stahre, 2001, Integrated Planning of sustainable stormwater management in Malmo Sweden, Proceedings of 9th ICUD September 2001, Portland Oregon, USA.

Frederiksberg : Det Økologiske Inspirationshus

Fakta	
Geografi	Frederiksberg
Scala	Ejendom
Teknologi	Urinsortering, regnvand-sopsamling, rodzonebed, indeklimaforbedring
Teknologisk stade	Udbygget
Formål	At lave en ejendom det kan inspirere andre der er økologisk interesserede
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	I mindre grad

Baggrund

I 1996 begyndte en række personer med Jytte Abildstrøm i spidsen at rejse penge til et økologisk inspirationshus. Ideen var at huset skulle rumme en masse byøkologiske aspekter til inspiration for alle interesserede. Huset, der delvist er finansieret af miljøministeriet, men og af en lang række fonde og privat personer, stod færdigt i 1999 og har været i brug siden.

Tiltag

Huset indeholder en lang række økologiske elementer. Vandets kredsløb i huset er ret specielt. Regnvand opsamles på taget og ledes derefter til en tank under huset. Det opsamlede regnvand, cirkuleres gennem et rodzonebed og en indvendig lufttrappe, så det holdes friskt. Dette medvirker også til at sikre et godt indeklima inde i bygningen. Det opsamlede regnvand anvendes dels i et værksted i underetagen, på toilet og i køkkenet (til andre formål end madlavning). Det grå spildevand ledes herefter til et udvendigt jordbed på første sal. En stor del af det grå spildevand fordamper undervejs og den lille rest det er, ledes til kloak. Toilettet er et kompost toilet, hvor fækalie-delen komposteres i huset og hvor urinen opsamles



Figur 6. Altankassen rensr det grå spildevand

i en tank og afleveres til landbrugsarealer uden for byen. Ud over de økologiske elementer der har med vand at gøre, rummer huset også en lang række andre elementer: masseovn, luftrensning, solpaneler, passiv solvarme m.m.

Perspektiv

Det økologiske inspirationshus er et godt eksempel på hvor langt man kan komme med økologisk entusiasme. Huset indeholder nogle teknologiske valg, der ikke ses ret mange andre steder i landet, f.eks. to vandkvaliteter i køkkenet og det indendørs rodzonebed. Huset er meget tæt på at være et helt lukket kredsløb, hvilket er ret usædvanligt.

Læs mere

Husets har lige haft ti års jubilæum og i den forbindelse er det blevet lavet en evalueringsrapport.

”Det økologiske inspirationshus 1996-2006 en evaluering af forløbet.” Kan hentes vi husets hjemmeside: www.byoko.dk

Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sverige: Økologisk bydel

Fakta	
Geografi	Stokholm, Sverige
Scala	8.000 lejligheder, 10.000 arbejdspladser
Teknologi	Byøkologi, vandbesparende tiltag over alt
Teknologisk stade	Under udbygning ca. 5000 lejligheder opført
Formål	Økologisk mønsterbydel
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Ja

Baggrund

Hammerby Sjöstad er en ny bydel under opførelse i det centrale Stokholm. Når bydelen er færdigudbygget vil den opfatte 8000 – 9000 lejligheder med omkring 20.000 beboere og arbejdspladser til ca. 10.000 mennesker. Bydelen er projekteret efter byøkologiske principper og det er tanken, at Hammerby Sjöstad skal være en økologisk mønsterby. Der er opstillet skrappe miljømålsætninger for affald, energi, transport, byggematerialer og vandforbrug.

Tiltag

Målsætningerne for håndtering af vand og vandforbrug omfatter.

- Halvering af vandforbruget (i forhold til Stokholm 2000 dvs. 100 l/p/d). I 2015 sænkes målsætningen til 80 l/p/d.
- Slam fra rensningsanlæg skal være af en sådan kvalitet, at det kan genbruges i landbruget som gødning.
- Spildevandets indhold af farlige stoffer skal halveres.
- Alt overflade afstrømning skal håndteres lokalt.

Vandforbruget nedbringes ved at anvende de mindst vand forbrugende installationer på markedet. Status august 2005 er at bydelen har et vandforbrug på 112 l/p/d, som skal ses i forhold til målsætningen på 100 l/p/d.



Figur 7 Luftfoto af Hammerby Sjöstad

Alt regnvand håndteres lokalt. Afhængig af hvilken type overflade regnen falder på håndteres regnvandet på forskellige måder. Vandet fra de mest trafikerede gader ledes til sedimentations bassiner inden det udledes i den nærliggende sø. Vand fra mindre trafikerede områder og tagflader ledes enten til lokal infiltration eller bruges i grønne områder og anlagte kanaler hvor det enten fordamper eller nedsiver.

For at udvikle den optimale rensningsteknik til sikring af næringsstoffer er der opført et pilot rensningsanlæg med en foreløbig kapacitet på 1000 Person Ekvivalenter, hvor der eksperimenteres med rensnings teknikker. Af spildevandsslam og husholdnings affald laves biogas, der sælges på en biogas tankstation og biomuld der bruges som jordforbedring, når den optimale teknik er fundet, bygges et rensningsanlæg der behandler vand fra hele bydelen. Indholdet af kemikalier i spildevandet styres delvist via oplysningskampagner om, hvilke produkter der er de miljømæssigt mest skånsomme.

Læs mere

Bydelens egen hjemmeside

<http://www.hammarbysjostad.se/>

Rapport om miljøtiltag (på svensk):

Miljøredovisning för hammarby sjöstad

2002/2003 Tilgængelig på:

www.ke.er.dtu.dk klik på “solutions in other cities

Potsdamer Platz, Berlin, Tyskland : Genanvendelse af regnvand i kontorhus

Fakta	
Geografi	Berlin, Tyskland
Scala	Bykerne i alt 50.000 m ² tagareal
Teknologi	Grønne tage, opsamling af regnvand
Teknologisk stade	Udført
Formål	Byøkologi, klimastyring, vandbesparelse
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Nej

Baggrund

Debis Hauss er et eksempel på gennemførelse af byøkologi, motiveret dels af lyst, dels af nødvendighed, centralt i bykernen af en storby. Huset stod færdigt i 1998. Hele bebyggelsen på i alt 450.000 etagemeter er opført efter byøkologiske principper, der omfatter selve indretningen af bygningen, klimastyring, trafik, elforbrug, materialevalg og vandforbrug.

Tiltag

25-30 % af det samlede tagareal på 50.000 m² omkring Potsdamer Platz er beplantet med vegetation. Vegetationen absorberer en stor del af nedbøren, som senere fordamper. Dette betyder at temperaturen i bykernen sænkes med 2° C om sommeren hvilket har stor betydning for behovet for køling inde i bygningerne og luftkvaliteten udendørs. Grønne tage reducerer også afstrømningen fra taget med op til 90 %, hvilket har betydning for de krav der stilles til maksimalvandføringen i afløbssystemet. Dette har haft stor betydning i Berlin hvor afløbssystemet var udbygget, men befæstelsesgraden omkring Potsdamer Platz steg markant i 90'erne. I Tyskland bliver det i stigende grad almindeligt at stille krav om delvis vegetation på tagearealer af nye store bygninger af hensyn til luftkvaliteten og afløbssystemet.



Figur 8 Debis Hauss på Potsdamer plats I Berlin. Byøkologi i moderne kontorbygning

Den del af regnvandet der ikke tilbageholdes af vegetation opsamles i cisterner. I alt opsamles 20.000 m³ vand om året. Heraf ledes halvdelen til en sø beliggende i det grønne område der er mellem bygningerne og den anden halvdel bruges i toiletskyl.

Perspektiv

Debis Hauss er et eksempel på gennemførelse af byøkologi, motiveret dels af lyst, dels af nødvendighed, centralt i bykernen af en storby. Huset kunne lige så godt have stået i København, hvilket det til dels også gør fordi Mercedes i København også opsaml vand fra taget til brug i toiletter. Der er tale om et nyopført hus hvilket gør det nemme og mere rentabelt at implementere byøkologiske elementer end, hvis eksisterende bebyggelse skal renoveres.

Læs mere

By økologiske kontor bygninger:

www.dsbo.dk

Tingbjerg, København: Nedsivning af regnvand fra beboelses område

Fakta	
Geografi	Tingbjerg, København
Scala	Bydel/boligåmråde i alt 500.000 m ² , case område Gavlhusvej 28.000m ²
Teknologi	Nedsivning af regnvand
Teknologisk stade	Udført
Formål	Anvende regnvand til at skabe attraktivt rekreativt område med vand som gennemgående element
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Nej

Baggrund

Projektet i Tingbjerg havde til formål at undersøge hvordan tilstrømningen til nærliggende vandløb og grundvandsdannelsen, bliver påvirket af et projekt med lokal afledning af regnvand, hvor regnvand fra tagarealer synliggøres i et grønt område, hvor det også forsinkes, tilbageholdes og nedsives i videst muligt omfang.

Tiltag

Tingbjerg er en typisk dansk bebyggelse fra 1950'erne på i alt ca. 500.000 m². Der er udført detaljeret projektering for den del af området der hedder Gavlhusvej, som er på ca. 28.000 m². I projektet er det tilstræbt at lave et rekreativt område lige op ad bebyggelsen, med permanent synligt vand. Vejvand og tagvand fra et areal på ca. 1,4 ha ledes til det grønne område. Inde i det grønne område ledes vandet til et sammenhængende system af infiltrations faskiner og åbne damme. For at sikre, at der hele året er frit vandspejl i

dammene er det nødvendigt at tilbage holde vandet i det grønne område, dette sker ved at regulere koten og udløbskapaciteten på udløbene fra dammene.

Figur 9 Skitsen viser, hvordan tagvand fra en del af arealet ledes til et grønt område

Nedstrøms har systemet forbindelse til kloaksystemet. Modelberegninger har vist at hvis lignende anlæg etableres i hele Tingbjerg området kan hyppigheden af overløb reduceres med 75 %-85 % og den årlige overløbsmængde kan reduceres med 80 %-90 %. Den reduktion opstår dels fordi fordampningen øges som konsekvens af det relativt fugtige grønne område, dels fordi en del af vandet infiltrerer til grundvandet og endelig fordi vandet tilbageholdes i dammene så afstrømningen først forekommer når presset på afløbssystemet er aftaget efter at regnen er holdt op.

Perspektiv

Tingbjerg er et godt eksempel på at et praktisk problem, et overbelastet kloaksystem, kombineres med lokal byplanlægning og landskabs indretning til fordel for området.

Læs mere

Projektet er beskrevet i denne rapport fra Miljøstyrelsen: Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, Nr. 44 2004; Lokal afledning af regnvand –effekten af et detaljeret projektforslag på Tingbjerg tilgængelig via www.mst.dk



Amager, Amagerværket København: Smart vandforbrug

Fakta	
Geografi	Amager, København
Scala	Kræftværk
Teknologi	Afsaltning af havvand, sekundavand
Teknologisk stade	Udført
Formål	At reducere forbruget af vandværksvand
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Nej

Baggrund

Et kraftværk bruger store mængder af vand. Amagerværket bruger ca. 1,1 mio. m³ om året, svarende til 3,5 % af hele byens forbrug af forsyningsvand. Derfor er det alene af økonomiske årsager interessant at se på, om vandværksvand kan erstattes af andre og billigere eller mindre begrænsede ressourcer end grundvand.

Tiltag

Amagerværket begyndte helt tilbage i 1994 at erstatte dele af vandværksvandet med afsaltet havvand. Fra 1998 har værket modtaget sekundavand, bl.a. i form af drænvand fra Øresundsforbindelsen. De andre vandkvaliteter bruges til forskellige procesformål, f.eks. i det anlæg der renser røggassen og producerer gips, til køling og til at spæde fjernvarme nettet med damp.

Den målrettede indsats mod erstatning af vandværksvand med enten afsaltet havvand eller sekundavand har betydet store reduktioner i forbruget af vandværksvand. Ud af et samlet vandforbrug på 1,1 mio. m³/år blev forbruget af vandværksvand i 2004 reduceret til 101.000 m³, hvilket svarer til, at ca. 90 % af vandet er blevet erstattet med andre vandkvaliteter.



Figur 10 På Amagerværket har man erstattet 90% af vandforbruget med andre kvaliteter vand end forsyningsvand

Perspektiv

Amagerværket er et godt eksempel på en stor industriel forbruger, der arbejder med flere forskellige vandkvaliteter og kun anvender den bedste og dyreste kvalitet vand - vandværksvand, hvor det er nødvendigt.

Læs mere

Amagerværkets grønne regnskaber for 2003 og 2004 kan hentes på www.e2.dk

Hurup Thy, Nordjysk center for vedvarende energi: grønne rensningsanlæg, levende maskine

Fakta	
Geografi	Danmark
Scala	Husstand, ejendom
Teknologi	Grønne rensemetoder for spildevand
Teknologisk stade	Bygget
Formål	Lokal og grøn rensning af spildevand
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Ja

Baggrund

Nordjysk folkecenter er et center, der på græsrodsniveau forsker i og eksperimenterer med økologiske og bæredygtige vandhåndterings-, energi- og transport-løsninger. Centeret der har eksisteret siden 1983 eksperimenterer bl.a. med grønne, dvs. spildevands rensnings teknologier, der er baseret på "naturlige" rensningsprocesser vha. jord, planter, bakterier og dyr.

Tiltag

Nordjysk folkecenter har i dag fire grønne spildevandsanlæg. Som udgangspunkt betragtes spildevandet som en ressource og ikke som affald. I opbygningen af anlæggene er der fokus på genbrug af vand, genbrug af næringsstoffer og ny biologisk produktion i form af planter og fisk. Det ene af anlæggene er en såkaldt grøn maskine, hvor hus-spildevand ledes gennem forskellige bassiner og bede med forskellige planter, hvor vandet gradvist renses gennem bakteriel omsætning og optagelse i plantevæv (se billede). Anlægget, der har en kapacitet på ca. 20 Person ækvivalenter er opstillet i et væksthuse, hvor vandet og næringsstofferne i spildevandet bruges til dyrkning af eksotiske afgrøder som citroner, tobak, mere almindelige grøntsager som agurk og tomat. Endelig produceres der fisk. De grønne



Figur 11 Den levende maskine, rensningsanlæg og væksthuse på samme tid

maskiner er afhængige af brugernes deltagelse. Dels skal planterne passes og høstes, dels er det vigtigt, at man som bruger er bevidst om at bruge de rengøringsmidler og andre husholdningskemikalier der er mest skånsomme for anlæggets planter.

Centeret har netop modtaget en bevilling fra miljøstyrelsen hvor de skal forsøge at udvikle et kompakt grønt anlæg, til en enkelt husstand, der ikke er større end at det kan være i et almindeligt drivhus på ca. 6 m², og som kan installeres f.eks. i et enfamilieshus i det åbne land.

Perspektiv

Nordjysk folkecenter for vedvarende energi, er nogen af dem i Danmark der har størst erfaring med grøn rensning af spildevand.

Læs mere

Folkecenterer hjemmeside:

www.folkecenter.net

Folkecenteret har skrevet rapporten: Water for Life: Spildevand som ressource i vedvarende kredsløb, om grønne rensningsanlæg, der kan hentes via centerets hjemmeside

Ecoporten, Nordkjöbing, Sverige: Urinsortering

Fakta	
Geografi	Sverige
Scala	Ejendom ca 45 personer
Teknologi	Urinsortering, genanvendelse af næringsstoffer
Teknologisk stade	Bygget
Formål	Opsamling af urin
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Begrænset omfang

Baggrund

Ecoporten i Nordkjöbing i Sverige er en ejendom, der i 1997 gennemgik en større renovering i, der omfattede en lang række miljøtiltag. Bygningen fik bl.a. et nyt spildevandssystem, der omfatter urinseparerende toiletter, som er målrettet mod at udnytte de næringsstoffer, der er i spildevandet.

Tiltag

Spildevandssystemet er opbygget med vandskylende urinsorterende toiletter. Urinen opsamles i tanke i kælderen, hvorfra den hentes og udbringes på landbrugs arealer. Fækaliernes separeres fra det sorte spildevand, hvorefter det sammen med køkkenaffaldet komposteres i kælderen. Komposten anvendes på ejendommens egne arealer. Det grå spildevand og det resterende sorte spildevand ledes til et rodzone anlæg, for til sidst at blive ledt ud i et lille vandløb. Som en konsekvens af det nye toiletsystem og den nye miljøbevidste profil ejendommen har fået, er vandforbruget faldet fra 160 l/p/d til 130 l/p/d.

Systemet blev sat i drift i 1997, så ejendommen har nogle års erfaringer at

konkludere på. Erfaringerne er blandede.

Opsamling af urin fungerer problemfrit, de 18 lejligheder opsamler 15-20 m³ urin om året, der bliver afhentet af en landmand. Det system der håndterer det sorte spildevand er

Figur 12 Ecoporten, indrettet med urinsorterende toiletter

knap så godt, det har vist sig, at det er vanskeligt at separere det organiske stof fra det sorte spildevand. Der er mange problemer enten med for meget vand i den del der skal komposteres eller for mange partikler i den del der sendes til rodzone anlægget. Generelt er konklusionen, at det er relativt simpelt at udnytte næringsstofferne fra urin, men vanskeligt at udnytte næringsstoffer fra fækalier, i hvert fald når der anvendes vandskylende toiletter. Det har også været en erfaring at i bestræbelserne på at designe et spildevandssystem der, giver mulighed for at udnytte næringsstofferne kommer man let til at lave et system der bruger uhensigtsmæssigt meget energi.

Perspektiv

Sverige har generelt været noget mere interesserede i spildevandssystemer der stiler mod at genanvende næringsstofferne fra spildevandet end man har været i Danmark og har derfor en række eksempler på sådanne systemer i fuld skala, der har været i drift siden starten af 90'erne.

Læs mere

rapporten Alternativ spildevandsbehandling - 10 illustrerede eksempler fra Sverige. kan downloades på

<http://www.er.dtu.dk/publications/fulltext/1999/imt1999-127.htm>



Figtree place Australien: Brug af regnvand

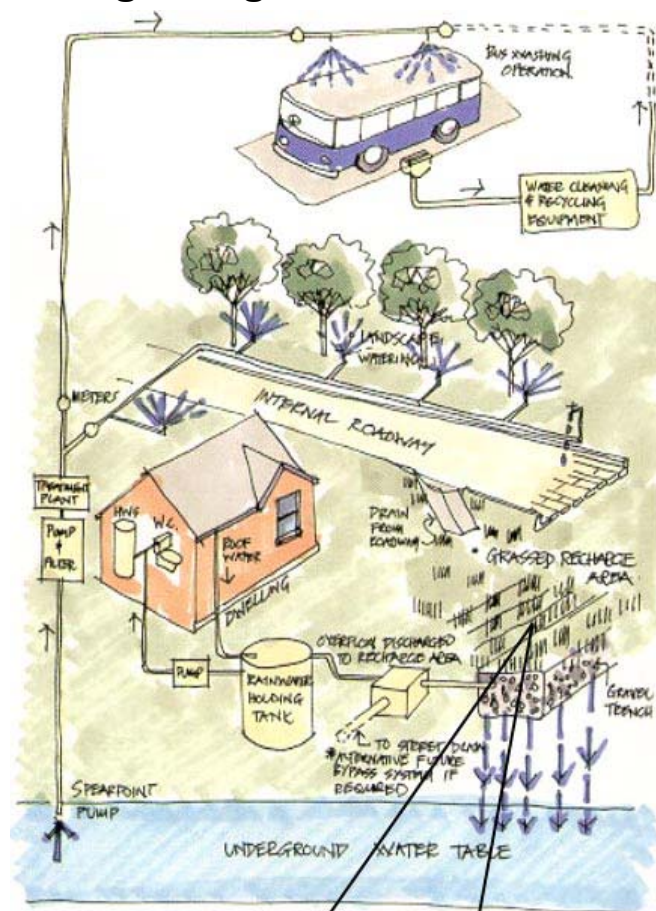
Fakta	
Geografi	Australien, New South Wales
Scala	27 husstande, 0,6 ha
Teknologi	Opsamling, genbrug og afledning af regnvand
Teknologisk stade	Bygget
Formål	At håndterer regnvand lokalt
Økonomi	2,9 mio. AUD\$
Bruger inddragelse	ja

Baggrund

”Water sensitive urban design” eller ”vandfølsom by design” er et Australsk koncept der går ud på, på ejendoms eller boligkvarter skala, at implementere vand-forsynings, -håndterings og -aflednings teknologier der reducerer omkostningerne til infrastruktur og nedslidning af det omkringliggende vandmiljø. I New South Wales, Australien har konceptet været anvendt på en rækkehuslignende bebyggelse bestående af 27 husstande. Området er relativt tæt bebygget, bebyggelsen er fordelt ud over et areal på kun 0,6 ha.

Tiltag

Fra tagarealer ledes regnvandet til et antal opsamlingstanke. Fra tanken pumpes vandet ind i husene, hvor regnvandet bruges i toilet, vaskemaskine og varmtvandsbeholdere. Den del der bruges til varmt vand desinficeres før brug. Hvis regnvandstanken bliver fuld er der overløb til en centralt placeret opmagasin-eringsdam og infiltrationsfaskine, hvortil regnvand fra alle øvrige arealer (vej, forto og indkørsler) også ledes. I tørvejrperioder henligger det centrale opsamlingssted som græsareal, men i regnvejr opmagasineres en del af regnvandet på overfladen. Via en faskine infiltreres regnvandet til grundvandsmagasinet. Fra grundvandet pumpes vand op, dels til vanding i haver, dels til en busvaskehal. Anlægget er dimensioneret til at kunne håndtere en 50-års hændelse.



Figur 13. WSUD I Australien

Perspektiv

I Figtree place er man, ved også at bruge regnvand til varmtvandsforsyningen, gået et skridt videre end normale regnvands-opsamlingsanlæg. Projektet er interessant fordi man på et ret tæt bebygget område er i stand til at erstatte 50% af indendørsforbruget, 100% af behovet for vanding samt forsyne en busvaskeanlæg med vand, i alt ca. 60% af vandforsyningen i områder med regnvand. En del af forklaringen er at området har ca. 50 % mere nedbør (ca. 950 mm om året) end København.

Læs mere

To australske sider der omtaler WSUD projekter i Australien:

<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/fs26.htm>

<http://wsud.melbournewater.com.au/>

Nijmegen, Holland: Contextual water management

Fakta	
Geografi	Nijmegen, Holland
Scala	By på størrelse med Århus
Teknologi	Tilskudsordning til vandtønder, vandkunst, omlægning af organisation
Teknologisk stade	Under udførelse
Formål	At omstrukturere forvaltningens struktur og tænke mere helhedsorienteret på vand
Økonomi	Totalt 50 mio. EUR
Bruger inddragelse	Ja

Baggrund

Nijmegen, der ligger i det sydvestlige Holland, er med sine 180.000 indbyggere en af de største byer i Holland. 1997 begyndte man arbejdet med at lave en ny "waterplan" for byen. I Nijmegen er det ikke mangel på vand, men ofte det modsatte der er problemet. Som en konsekvens heraf og af, at byen generelt manglede en ny identitet, blev det besluttet, at udover at planen skulle omfatte en renovering af kloaksystemet, skulle synlighed af vand og borgerinddragelse skulle være nøgleord i planen.

Tiltag

Planen omfatter en meget lang række tiltag af meget forskellig karakter. I alt er der planlagt projekter for 150 mio. Euro i perioden 2001-2015. Heraf er ca. halvdelen afsat til udskiftning af dele af kloaksystemet og 30 % af afsat til at afskære befæstede arealer fra kloaksystemet. Synliggørelsen af regnvand der er afskåret fra det konventionelle kloaksystem foregår på mange måder, som vankunst (se billede), åbne rendesten i gaderne, regnvandstønder i haverne, damme i boligkvarterer og genbrug i huse.

Helt fra starten har der været lagt meget vægt på borger inddragelse. Det var et formål med planen at give byen en ny identitet som "den vandbevidste by ved siden af floden". Fordi



Figur 14. Genbrug af regnvand I Nijmegen til gavn for byens børn.

vandplanen handler om andet og mere end at renovere kloaksystemet, har man søgt at inddrage alle relevante myndigheder i planens udformning. Allerede da planens formål og målsætninger skulle defineres, blev byens borgere involveret gennem bl.a. workshops, vandtemauger, demonstrations projekter og informationscenter. Alle disse aktiviteter er med til at sikre at borgerne føler at det er "deres plan" og, at borgerne forstår ideen med og effekten af konkrete tiltag. Ud fra en ide om at børn er bærerne af bæredygtighed har man har valgt at lade børn være dem der måler effekterne af planens udførelse.

Perspektiv

Waterplan Nijmegen er et af de mest omfattende eksempler på at lade vandhåndtering indgå i en integreret plan for byens udvikling, hvor vandhåndtering tænkes sammen med byudvikling, trafikplanlægning, socialt arbejde, kultur, daginstitutioner m.m.

Læs mere

Hollandsk PhD afhandling der har brugt Nijmegen som case. Govert D Geldof, 2005, Coping with complexity in integrated water management, Tauw, ISBN90-76098-04-2
Lokal hjemmeside om Nijmegens vandplan (på hollandsk): www.waterbewust.nl

Fremantle, Australien: Bølgeenergidrevet afsaltningsanlæg

Fakta	
Geografi	Fremantle, Australien
Scala	Pilot anlæg 300 m ³ /d afsaltet havvand
Teknologi	Bølgeenergi, omvendt osmose
Teknologisk stade	Testanlæg, søsat maj 2005
Formål	Økonomisk konkurrencedygtig bølgeenergi
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Nej

Baggrund

Bølgeenergi er en vedvarende energikilde, der stadig mangler sit kommercielle gennembrud. I Fremantle i Australien tester man et anlæg der bruger bølgeenergi til at drive dels et omvendt osmose anlæg dels en turbine der producerer el.

Tiltag

Et stempel, placeret på havbunden presser ,under højt tryk, vand ind til et anlæg på kysten. Her bruges det høje tryk til enten at presse vandet gennem et omvendt osmose anlæg eller drive en el-turbine. Det anlæg der i øjeblikket testes kan producere 300 m³ afsaltet havvand eller 2400 kWh per dag.

Perspektiv

Denne kombination af bølgeenergi og afsaltning kunne være en måde at give, afsaltet havvand et bedre image på.

Læs mere

Firmaet der udvikler CETO's hjemmesider:
<http://www.seapowerpacific.com/index.htm>
<http://www.reh-plc.com/index.asp>

Perth, Australien: Storskala afsaltningsanlæg

Fakta	
Geografi	Perth, Australien
Scala	45 mio. m ³ /år
Teknologi	omvendt osmose
Teknologisk stade	Planlagt
Formål	Produktion af drikkevand
Økonomi	Anlægsudgift AUD\$ 387 mio.
Bruger inddragelse	Nej

Baggrund

Afsaltning er en teknologi i fremgang og nogle lande; heriblandt Australien ser afsaltet havvand som løsningen på deres vandmangel.

Tiltag

Anlægget er et almindeligt omvendt osmose anlæg, med en kapacitet på 45 mio. m³/år, hvilket vil gøre det til verdens største når det er færdigt. Anlægsprisen vil være AUD\$ 387

mio. Anlægget vil fra 2009 forsyne 1,5 mio. vest Australier med omkring 40 % af deres vandforsyning

Perspektiv

Afsaltning af havvand er en ukendt teknologi i Danmark. Australien er et af de lande der satser mest på afsaltning af havvand i de kommende år, både hvad angår antal af anlæg og anlæggenes størrelse. Anlægget i Perth er et af de mest omfattende eksempler på at afsaltet havvand kommer til at udgøre en væsentlig del af vandressourcen

Læs mere

De lokale vandmyndigheders hjemmeside med omtale af anlægget:
<http://www.watercorporation.com.au/index.cfm>

Holland: Parkhuis Cool: Det grønne kontorhus

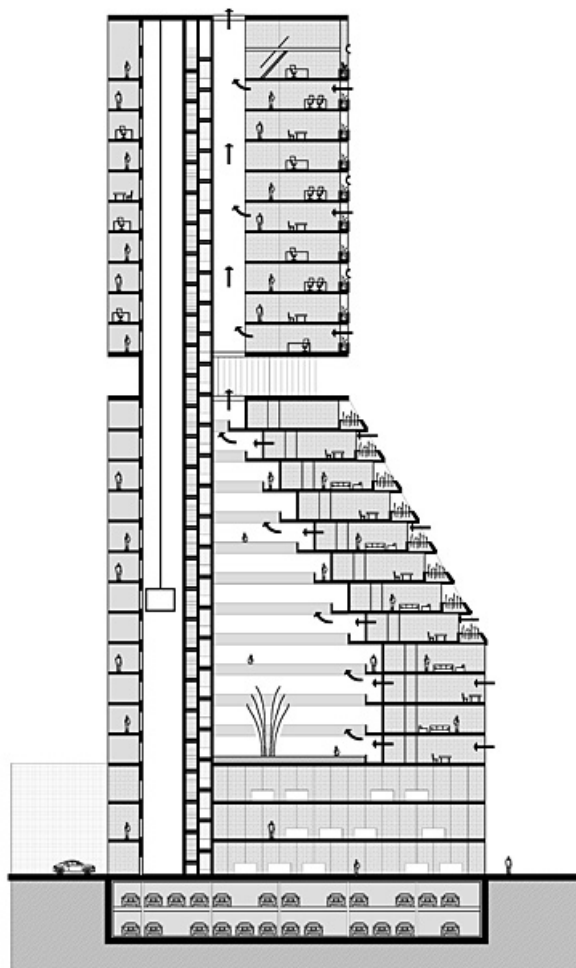
Fakta	
Geografi	Europa
Scala	Kontorhus, 23.000 m ²
Teknologi	Grøn
Teknologisk stade	Ide fase
Formål	Opsamling af regnvand til brug og klimastyring i kontorhus
Økonomi	26 mio. Euro
Bruger inddragelse	Nej

Baggrund

Der er en stigende interesse for i moderne kontorbyggeri at bygge mere miljørigtigt og energirigtigt samtidig med at man optimerer den naturlige opvarmning og klimastyring i bygningen.

Tiltag

Parkhuis Cool er et forslag til en stor moderne kontorbygning, hvor regnvands opsamling er en integreret del af arkitekturen. Bygningen er på 23.000 m² fordelt på 26 etager, planlægges opført i centrum af Rotterdam i Holland. På en række grønne terrasser (den skrå del af bygningen på højre side på figuren) opsamles regnvand. De grønne terrasser er med til at forbedre klimaet i bymidten. Den øgede fordampning på grønne tage sænker temperaturen med 2-5 grader, hvilket kan have en positiv effekt på luftforureningen. Regnvandet filtreres i en række grønne bede på terrasserne. Efter Filtreringen ledes vandet ind i bygningens kerne, hvor et stort åbent bassin fungerer som reservoir. Bassinet i midten af bygningen er med til at sikre et godt indeklima i bygningen og samtidig fungerer bassinet som varmebuffer. I dagtimerne absorberer vandet solvarme som så afgives i aften og nattetimerne. Fra reservoirer ledes vandet til brug i bygningens toiletter



Figur 15. Parkhuis Cool, moderne miljø og energirigtig kontorbyggeri.

Perspektiv

Parkhuis Cool er et godt eksempel på et moderne kontorhus, hvor opsamlingen af regnvand integreres i bygningens arkitektur og anvendes til flere formål: vandforbrug, indendørs klimastyring, udendørs klimastyring, grønne rekreative terrasser.

Læs mere

Tegnestuens hjemmeside (på hollandsk)
http://www.lvbk.nl/parkhuiscool_n.html

Danmark: regnvandsopsamling i parcelhus

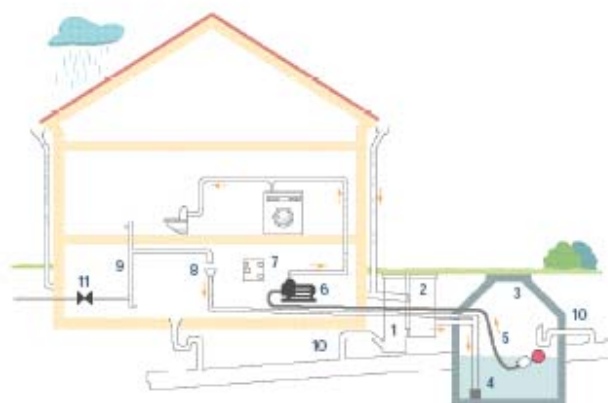
Fakta	
Geografi	Danmark
Scala	Hustand
Teknologi	Delvist grøn
Teknologisk stade	Udført
Formål	Opsamling af regnvand
Økonomi	Ca. 20.000 per anlæg
Bruger inddragelse	Ja

Baggrund

Der er en stigende interesse blandt almindelige borgere for at spare på vandet. Siden 2000 har det været tilladt at bruge regnvand i vaskemaskiner og toiletter. Erhvervs og boligstyrelsen har udgivet pjecen ”Fra taget til toilettet - om brug af regnvand fra tage i wc-skyl og vaskemaskine”, om regnvandsanlæg til én-families huse

Tiltag

Til wc-skyl og vask bruger hver person 50 liter/dag svarende til 1/3 af det samlede forbrug. Det bliver til ca. 18 m³ om året. Det kræver ca. 40 m² tagflade at opsamle en tilsvarende mængde regnvand. Med en vandpris på ca. 30 kr./m³ kan man spare 540 kr. på vandregningen, forudsat man har det nødvendige tagareal. Et regnvandsanlæg til en husstand koster ca. 15.000 – 21.000 kr. Hertil kommer udgifter til tilslutning til toilet og vaskemaskine inde i huset, dvs., at for en husstand med 4 personer er der tale om en tilbagebetalingstid på 7 – 10 år for anlægget alene. Så det er altså ikke en god ide udelukkende af økonomiske grunde at etablere et regnvandsanlæg, det skal være behovet for eller ønsket om at spare på forbruget af grundvand, der retfærdiggør en investering i et regnvandsanlæg. Figuren viser et eksempel på hvordan et regnvandsanlæg i en husstand kan se ud. Regnvandet ledes til en tank hvorfra det pumpes ind de installationer



Figur 16 Eksempel på regnvandsopsamlingsanlæg i et enfamilieshus.

der skal bruge vandet (vaskemaskine og toilet). Hvis det regner for meget, er der et overløb i tanken, hvor vandet kan løbe til kloak. Når der mangler vand kan der suppleres med vandværksvand. Hvis der er for mange personer i husstanden i forhold til tagareal (f.eks. i en etage ejendom) kan man nøjes med kun at slutte toiletterne til anlægget og lade vaskemaskinen anvende vandværksvand.

Perspektiv

Der er endnu ikke ret mange regnvandsopsamlings anlæg i én.families huse i Danmark, men antallet er stigende. Nogle kommuner som Stenløse og Roskilde er begyndt at stille krav om genbrug af regnvand, i nye udstykninger. Der er ingen tvivl om at antallet af regnvandsanlæg vil stige, ikke mindst i områder hvor presset på grundvandsressourcen er højt, som i Hovedstadsområdet.

Læs mere

”Fra taget til toilettet - om brug af regnvand fra tage i wc-skyl og vaskemaskine”, kan findes på: <http://www.ebst.dk/publikation/0/6/0>
www.nyrupplast.dk forhandler regnvandsanlæg.

Kalmars tekniske højskole, Sverige: urinsortering

Fakta	
Geografi	Sverige
Scala	Skole, 770 personer
Teknologi	Vandbesparelse, næringstofgenanvendelse
Teknologisk stade	Bygget
Formål	At skabe et miljørigtigt hus
Økonomi	Ingen oplysninger
Bruger inddragelse	Begrænset omfang

Baggrund

Teknikhuset på Kalmars tekniske højskole er opført som et ”miljøhus” i 1997. Det har været tilstræbt at lave et hus med lavt forbrug af varme, el, køling og vand. 700 studerende og 65 lærer har sin daglige gang på den tekniske højskole.

Tiltag

Via urinaler og urinsorterende toiletter opsamles urinen i en central tank. Herfra hentes det og udbringes, efter en lagringstid på minimum 6 måneder, på nærliggende landbrugsarealer. Fækaliedelen samles i kælderen, hvor den faste del separeres fra det øvrige spildevand og komposteres. Gråt spildevand og regnvand opsamles i en brønd. Herfra ledes vandet gennem et grønt område bestående af et system af faskiner, damme og bede før det ender i en nedstrøms brønd. Fra den nedstrøms brønd pumpes en del af vandet op til yderligere rensning, hvorefter det ledes ind i skolen, hvor det bruges til alt andet end drikkevand. Ud over den naturlige rensning i vådområdet, ledes det vand der bruges i huset gennem et partikel- og et UVfilter.

Bygningen har været i drift siden 1997, så der er nogle års erfaringer at konkludere ud fra. Selve opsamlingen af næringsstoffer fungerer nogenlunde, både hvad angår urindel og fækaliedel. Det separator som man ikke kan få til at fungere i Ecoporten (se side 16)



Figur 17 Rensning af gråt spildevand og regnvand i smukt vådområde.

fungerer fint her. Derudover har man nogle tekniske småproblemer, hvor nogle skyldes mangel på omtanke i design og andre skyldes anvendelsen af teknologier, der stadig er i en testfase. Det kunstigt skabte vådområder har en ret god renseeffekt, fosfor renses ned til 0,02 mg P/l. Bagsiden af medaljen er, at der bruges store mængder energi på at pumpe vandet rundt i det grønne anlæg. Energiforbruget for hele systemet ligger på ca. 50 kWh/m³. I København bruges der under 1 kWh/m³ til både produktion og rensning

Perspektiv

Specielt vådområdet er et godt eksempel på en kombination af det tekniske behov for rensning af vand, der er kombineret med skabelsen af et rekreativt område til glæde for bygningens brugere. Kalmars tekniske højskole er et af de få eksempler fra Sverige hvor både genanvendelse af næringsstoffer fra urin og fækalier fungerer nogenlunde tilfredsstillende.

Læs mere

På www.er.dtu.dk kan rapporten Alternativ spildevandsbehandling -10 illustrerede eksempler fra Sverige. downloades
Konstruktøren af damsystemet:
www.humecol.lu.se_g/vatpark
www.te.hik.se

Skogaberg, Göteborg, Sverige: genanvendelse af næringsstoffer

Fakta	
Geografi	Sverige
Scala	Boligkvarter, 130 husstande
Teknologi	Køkkenkværne, omvendt osmose
Teknologisk stade	I testfasen
Formål	Udvinde næringsstoffer fra det sorte spildevand
Økonomi	13 mio. skr. over 5 år
Bruger inddragelse	Ja i begrænset omfang

Baggrund

I forbindelse med renovering af nogle eksisterende bygninger, og nyopførelse af villakvarteret Skogaberg startede Göteborg kommune i 2001 et forsøg med opsamling af næringsstoffer fra det sorte spildevand. Bebyggelsen omfatter totalt set 130 husstande.

Tiltag

Alle husstande er udstyret med dobbelt afløbssystem. Det sorte spildevand fra toilet og køkkenvask har sit eget rørsystem, mens alt øvrigt spildevand ledes til kloak. Køkkenvasken er udstyret med affaldskværn, så det bliver muligt, at inkludere det organiske køkkenaffald i det sorte spildevand. Ned-strøms for boligkvarteret ledes det sorte spildevand in i en lille rensningsbygning. Her opkoncentreres det sorte spildevand, først i en trumles i og derefter i en omvendt osmose membran (se billede). Det er målet at spildevandet skal koncentreres med en faktor 20, få så er tørstofindholdet højt nok til, at det kan kompostere ved egen kraft. Målet er at genanvende 100% fosfor og 80% kvælstof og kalium. På grund af køkkenkværnene kan spildevandet være ganske tyktflydende, derfor har man måtte udføre rørsystemet med bløde bøjninger og udstyre det med et spulesystem, for at undgå tilstopning. I øjeblikket er man i



Figur 18 testanlæg til genanvendelse af næringsstoffer fra det sorte spildevand

en testfase hvor en delstrøm på max 1,5 l/s af det sorte spildevand ledes til et testanlæg (det er RO membranen i testanlægget, der kan ses på billedet) og resten af det sorte spildevand ledes indtil videre til rensningsanlæg. Testfasen slutter med udgangen af 2005, hvorefter der skal evalueres og den endelige beslutning skal tages om anlægget skal opføres for hele kvarteret. Man forventer at anlægget kan drives med et energiforbrug på 100 kWh /husstand/år.

Perspektiv

Skogaberg er et af de få fuldskala eksempler på en samlet opsamling af spildevand fra hele den sorte fraktion af spildevandet plus organisk køkkenaffald. Systemet kræver en vis omtanke af beboerne mht. brug af kemikalier men stiller ellers ikke krav om deltagelse fra beboerne.

Læs mere

Diverse artikler om projektet er tilgængelig via www.ke.er.dtu